



# Détermination du rôle de l'énergie dans la compétitivité de l'industrie manufacturière : Études économétriques et modélisation des interdépendances

Mathieu Bordigoni

## ► To cite this version:

Mathieu Bordigoni. Détermination du rôle de l'énergie dans la compétitivité de l'industrie manufacturière : Études économétriques et modélisation des interdépendances. Economies et finances. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2012. Français. NNT : 2012ENMP0057 . pastel-00803187

**HAL Id: pastel-00803187**

**<https://pastel.archives-ouvertes.fr/pastel-00803187>**

Submitted on 21 Mar 2013

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

École doctorale n° 396 : Economie, Organisation, Société

**Doctorat ParisTech**

**T H È S E**

pour obtenir le grade de docteur délivré par

**l'École nationale supérieure des mines de Paris**

**Spécialité “ Economie et finance ”**

*présentée et soutenue publiquement par*

**Mathieu Thomas BORDIGONI**

le 11 Octobre 2012

**Détermination du rôle de l'énergie dans la compétitivité  
de l'industrie manufacturière :  
Etudes économétriques et modélisation des interdépendances**

Directeur de thèse : **Gilles LE BLANC**

Co-encadrement de la thèse : **Alain HITA**

**Jury**

**Prof. Jacques PERCEBOIS**, Professeur en Sciences Economiques, CREDEN, Université Montpellier I

**Prof. David REINER**, Directeur du MPhil in Technology Policy Programme, University of Cambridge

**Prof. Matthieu CROZET**, Professeur en Sciences Economiques, Université Paris I

**M. Alain HITA**, Ingénieur de recherche, EDF R&D

**Prof. Gilles LE BLANC**, Directeur adjoint du cabinet, Ministère de la Culture et de la Communication

Rapporteur

Rapporteur

Examineur

Examineur

Examineur

**T  
H  
È  
S  
E**

**MINES ParisTech  
CERNA**

60 Boulevard Saint Michel 75272 Paris Cedex 06

## **REMERCIEMENTS**

Je tiens en premier lieu à remercier Pr. Matthieu Crozet, Pr. Jacques Percebois et Pr. David Reiner pour avoir accepté de consacrer une partie de leur temps pour juger ce travail. Je suis très touché de l'honneur que vous me faites par votre présence dans le jury.

Je remercie Pr. Gilles Le Blanc, mon directeur de thèse, pour la richesse et la pertinence de ses interventions. Son soutien m'a permis de structurer cette thèse et de progresser tout au long de ce travail. Je lui exprime toute ma gratitude pour la confiance et les responsabilités qu'il m'a accordées.

Je remercie tout particulièrement M. Alain Hita pour son appui constant. Sans sa disponibilité, ses conseils et sa sympathie, cette thèse n'aurait pas vu le jour. Ces trois ans représentent non seulement un partage de connaissances mais aussi de nombreux moments de vie. C'est avec un plaisir sans cesse renouvelé que j'ai travaillé auprès de lui. Un grand merci aussi à M. Christian Pham-Van-Cang pour son aide et sa sagacité inaltérable.

J'adresse mes remerciements à M. Bernard Declerck, Mme. Marie-Ann Evans et M. Christophe Marchand pour m'avoir accueilli dans d'excellentes conditions au sein du département EPI et du groupe E27 à EDF. Leur encadrement et leur confiance m'ont permis de construire sereinement cette thèse.

Je tiens également à remercier Pr. Matthieu Glachant pour m'avoir accueilli au CERNA. Je lui suis reconnaissant pour ses conseils avisés et pour l'encadrement dont j'ai bénéficié pendant ces trois ans.

Je tiens aussi à exprimer ma gratitude pour tout le soutien et les aides quotidiennes des agents du groupe E27 (Ahcène, Arnaud, Bertrand, Chantal, Daniela, Dominique, François, Karim, Marc, Marie-Marguerite, Marion, Maxime, Rémy, René, Vincent et Yann) ainsi qu'aux assistantes pour leur aide administrative si précieuse (Anny, Sesaria, Patricia). Je suis aussi très reconnaissant à tous ceux qui ont donné de leur temps pour relire ma thèse pendant la période estivale. Je remercie également Prabodh Pourouchottamin qui m'a initié au décryptage des modèles entrées-sorties et tous les agents du département EPI pour leur sympathie et leur accueil. Je remercie toutes les personnes qui m'ont donné un coup de pouce au moment opportun telles que Khalil Helioui, Laurent Levacher, Yann Ménière et Alain Trognon.

Je souhaite bon courage aux doctorants comme aux nouveaux docteurs qui ont contribué à rendre ces années de travail, à EDF et au CERNA, riches, sympathiques et motivantes: Benoît Allibe, Michel Berthelemy, Jean-Michel Cayla, Arnaud de la Tour, Benjamin Didier Le Moal, Charlotte Fourcroy, Elie Ghanassia, Arnaud Grandjean, Aurélie Lacoeuilhe, Gabrielle Moineville, Marie-Lou Picherit, Maxime Raynaud, Gondia Seck. Mention spéciale à Baptiste Anger, Samuel Le-Féon, Pierryves Padey, Cyrielle Delpeyroux et Guilhem Tournaire pour leur jovialité et leur humour.

Je pense aussi très fortement à toute ma famille qui m'a soutenu pendant ces trois ans et spécialement aux petites nièces qui ont vu le jour pendant ces années. A mon père qui a toujours cru en moi, à ma mère qui m'a appris à voir et à mes frères qui m'ont inspiré. Je remercie tous mes amis qui m'ont accompagné : Fabien, Gee, Guillaume, Marc et Thibaud.

Les derniers mots et toute l'émotion s'adresse enfin à Gaëlle pour son amour et les petits moments de bonheur.

A mon frère Antoine pour son courage



*« Le désir profond de l'esprit même dans ses démarches les plus évoluées rejoint le sentiment inconscient de l'homme devant son univers : il est exigence de familiarité, appétit de clarté. Comprendre le monde pour un homme, c'est le réduire à l'humain, le marquer de son sceau. »*

*Albert Camus, Le mythe de Sisyphe, 1942*

# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION GÉNÉRALE .....</b>	<b>7</b>
------------------------------------	----------

## **CHAPITRE I**

### **ENERGIE ET COMPETITIVITE : QUELS SONT LES ENJEUX**

<b>POUR L'INDUSTRIE ? .....</b>	<b>16</b>
---------------------------------	-----------

SOMMAIRE DU CHAPITRE I .....	17
------------------------------	----

<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>19</b>
---------------------------	-----------

#### **1.1) INCERTITUDES SUR LA COMPETITIVITE INDUSTRIELLE ET SUR L'AVENIR DU SYSTEME**

<b>ENERGETIQUE.....</b>	<b>21</b>
-------------------------	-----------

<i>1.1.1) La compétitivité industrielle d'un point de vue économique, politique et social .....</i>	<i>22</i>
---	-----------

<i>1.1.2) Un débat sur la question énergétique .....</i>	<i>36</i>
--	-----------

<i>1.1.3) Conclusion sur le contexte économique et énergétique .....</i>	<i>59</i>
--	-----------

#### **1.2) L'ENERGIE DANS L'INDUSTRIE MANUFACTURIERE : LES INDUSTRIES GRANDES**

<b>CONSOMMATRICES D'ENERGIE .....</b>	<b>60</b>
---------------------------------------	-----------

<i>1.2.1) La consommation d'énergie dans l'industrie manufacturière .....</i>	<i>60</i>
---	-----------

<i>1.2.2) Structure économique des IGCE : Des secteurs homogènes ?.....</i>	<i>69</i>
---	-----------

<i>1.2.3) Adaptation des IGCE face aux enjeux énergétiques et climatiques .....</i>	<i>80</i>
---	-----------

<i>1.2.4) Conclusion sur la place de l'énergie dans l'industrie.....</i>	<i>87</i>
--	-----------

<b>1.3) LA NOTION DE COMPETITIVITE DANS L'INDUSTRIE .....</b>	<b>88</b>
---	-----------

<i>1.3.1) Une nécessaire qualification du concept de compétitivité .....</i>	<i>88</i>
--	-----------

<i>1.3.2) Proposition de classification des facteurs de compétitivité industrielle .....</i>	<i>94</i>
--	-----------

<i>1.3.3) Le lien entre énergie et compétitivité dans l'industrie .....</i>	<i>104</i>
---	------------

<i>1.3.4) Conclusion sur la notion de compétitivité industrielle et son lien avec l'énergie.....</i>	<i>116</i>
--	------------

<b>CONCLUSION DU CHAPITRE I .....</b>	<b>117</b>
---------------------------------------	------------

## **CHAPITRE II**

<b>QUANTIFICATION EMPIRIQUE DE L'IMPACT DES PRIX DE L'ENERGIE .....</b>	<b>119</b>
---	------------

SOMMAIRE DU CHAPITRE II .....	120
-------------------------------	-----

<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>123</b>
---------------------------	------------

#### **2.1) UN CADRE METHODOLOGIQUE POUR ETUDIER LES DETERMINANTS**

<b>DE LA COMPETITIVITE .....</b>	<b>124</b>
----------------------------------	------------

<i>2.1.1) Une approche économétrique déterminée par l'échelle d'étude.....</i>	<i>124</i>
--	------------

<i>2.1.2) Définition du cadre sectoriel, géographique et temporel des travaux .....</i>	<i>134</i>
---	------------

<i>2.1.3) Acier et Papier : Deux secteurs en transition .....</i>	<i>139</i>
---	------------

<i>2.1.4) L'énergie dans les coûts de production des industries de l'acier et du papier .....</i>	<i>166</i>
---	------------

<b>2.2) EFFETS DES COÛTS DE L'ÉNERGIE SUR LES ÉCHANGES INTERNATIONAUX DE PRODUITS</b>	
<b>MANUFACTURES .....</b>	<b>176</b>
2.2.1) <i>Dans la littérature, des modèles de gravité qui s'orientent vers des études sectorielles .....</i>	<i>176</i>
2.2.2) <i>Construction des modèles de gravité des échanges internationaux pour les industries du papier et de l'acier .....</i>	<i>179</i>
2.2.3) <i>Comparaison du rôle des coûts de l'énergie dans les échanges de produits manufacturés : Ressemblances et divergences entre les industries du papier et de l'acier .....</i>	<i>187</i>
2.2.4) <i>Conclusion sur l'effet des coûts de l'énergie sur les échanges internationaux.....</i>	<i>204</i>
<b>2.3) POIDS RELATIF DES COÛTS DE L'ÉNERGIE DANS LA COMPETITIVITE DE LA PRODUCTION NATIONALE DES INDUSTRIES DU PAPIER ET DE L'ACIER .....</b>	<b>206</b>
2.3.1) <i>L'abondance des ressources et la proximité des marchés au cœur des précédentes recherches .....</i>	<i>206</i>
2.3.2) <i>Construction d'un modèle d'analyse en données de panel sur les industries du papier et de l'acier.....</i>	<i>213</i>
2.3.3) <i>Résultats : L'énergie n'est pas le principal déterminant de la localisation de la production des industries du papier et de l'acier.....</i>	<i>222</i>
2.3.4) <i>Conclusion sur la comparaison des déterminants de la compétitivité dans les industries du papier et de l'acier.....</i>	<i>240</i>
<b>2.4) LE RÔLE DE L'ÉNERGIE DANS L'ÉVOLUTION DES CAPACITES DE PRODUCTION DE LA SIDÉRURGIE .....</b>	<b>242</b>
2.4.1) <i>Bibliographie : Des modèles utilisés pour étudier la survie des entreprises et des usines .....</i>	<i>242</i>
2.4.2) <i>Construction des modèles de changements de capacité pour une application sur la sidérurgie au niveau mondial .....</i>	<i>247</i>
2.4.3) <i>Résultats : Des prix élevés de l'énergie augmentent les risques de fermeture des capacités sidérurgiques.....</i>	<i>266</i>
2.4.4) <i>Conclusion de l'étude sur l'évolution des capacités de production dans la sidérurgie .....</i>	<i>283</i>
<b>CONCLUSION DU CHAPITRE II.....</b>	<b>285</b>
 <b><u>CHAPITRE III</u></b>	
<b>PRISE EN COMPTE DE L'ÉNERGIE GRISE DANS LE BILAN ÉNERGETIQUE DE L'INDUSTRIE : CONSÉQUENCES SUR LA COMPETITIVITE.....</b>	<b>290</b>
<b>SOMMAIRE DU CHAPITRE III.....</b>	<b>291</b>
<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>293</b>
<b>3.1) LA NECESSAIRE PRISE EN COMPTE DES FLUX D'ÉNERGIE DANS LES PRODUITS INDUSTRIELS .....</b>	<b>295</b>
3.1.1) <i>La nouvelle géographie de l'industrie requiert une mesure plus fine de l'énergie contenue dans les produits manufacturés .....</i>	<i>295</i>
3.1.2) <i>Méthodes existantes d'analyse du contenu des produits manufacturés : des travaux surtout orientés vers le CO<sub>2</sub>.....</i>	<i>300</i>
3.1.3) <i>Construction d'un modèle mondial intégrant les flux d'énergie dans l'industrie.....</i>	<i>305</i>
3.1.4) <i>Conclusion sur l'apport de ce nouveau modèle .....</i>	<i>316</i>
<b>3.2) BILAN GLOBAL PAR SECTEUR ET PAR PAYS DE L'ÉNERGIE GRISE.....</b>	<b>318</b>
3.2.1) <i>Une nouvelle carte des flux énergétiques dans le monde et en France.....</i>	<i>318</i>
3.2.2) <i>L'origine géographique et sectorielle des consommations d'énergie implique une dépendance forte de l'industrie aux prix non-domestiques de l'énergie .....</i>	<i>340</i>
3.2.3) <i>Conclusion sur le bilan global de l'énergie et du CO<sub>2</sub> contenus dans les produits manufacturés.....</i>	<i>351</i>

<b>3.3) APPLICATIONS : DEMANDE ENERGETIQUE ET TAXE CARBONE .....</b>	<b>353</b>
3.3.1) <i>Impact d'un changement structurel de l'industrie sur la demande en énergie .....</i>	353
3.3.2) <i>Effets distributifs d'une taxe carbone européenne sur les pays et sur les secteurs industriels .....</i>	363
<b>CONCLUSION DU CHAPITRE III.....</b>	<b>373</b>
<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>	<b>376</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>383</b>
<b>LISTE DES SIGLES UTILISES .....</b>	<b>405</b>
<b>INDEX DES FIGURES .....</b>	<b>406</b>
<b>INDEX DES TABLEAUX .....</b>	<b>411</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>413</b>
<i>Annexe A) Démonstration de l'analyse temporelle des effets du modèle de gravité .....</i>	413
<i>Annexe B) Tests des résidus de Shoenfeld pour le modèle de durée de Cox .....</i>	415
<i>Annexe C) Liste des pays et des régions inclus dans le modèle avec les tableaux Entrées-Sorties .....</i>	417
<i>Annexe D) Nomenclature sectorielle utilisée dans le modèle (GTAP, Eurostat, Nes114).....</i>	418
<i>Annexe E) Facteurs d'émission des combustibles solides et de l'électricité .....</i>	419

## INTRODUCTION GÉNÉRALE

*« It has been argued that, around the turn of the century, there was a shift in the focus of energy policy of sufficient cumulative effects to be regarded as a paradigm shift. The objectives changed, the underlying market conditions changed from excess supply to investment, and primary energy prices moved up in a sharp and sustained way. The central question in the new energy paradigm is how to design a new energy policy with security of supply and climate change at the core. »*

**Dieter Helm** [The New Energy Paradigm, 2007, Oxford University Press, p.34]

*« En 1990, la France réalisait plus de 6 % des exportations mondiales. En 2009, sa part de marché est tombée à moins de 4 %. Le solde commercial français, largement excédentaire dans les années 1990, s'est ensuite effrité de façon continue ; en 2009, la France affichait un déficit de 1.7 % du PIB. Ces piètres résultats, qui semblent aller de pair avec une dégradation continue de l'emploi industriel, viennent raviver les débats sur les capacités du système productif français à répondre aux exigences de la concurrence internationale et sur les conséquences économiques de libre-échange.*

*Ce n'est pas une particularité française. Mise à part l'Allemagne, tous les grands pays développés ont vu leurs parts dans les exportations mondiales décroître rapidement dans les années 1990 et 2000. Certains pays, comme les Etats-Unis, accusent d'ailleurs un recul bien plus net que la France. »*

**Antoine Berthou et Matthieu Crozet** [Les ressorts de la compétitivité, L'économie mondiale 2012, 2011, CEPII, La Découverte, p.104]

L'industrie manufacturière est d'autant plus concernée par les deux constats précédents, sur la nécessité d'une nouvelle politique énergétique et sur l'évolution à la baisse de la compétitivité industrielle en France et dans les grands pays développés, que les risques induits par ces deux tendances se combinent pour les secteurs les plus intensifs en énergie et se transmettent ensuite aux autres secteurs industriels. Dans un contexte de crise économique prolongée, d'inquiétudes sur la « *perte de substance de l'industrie* » (Fontagné & Lorenzi, 2005), les tensions sur les prix de l'énergie, liées au bond continu de la demande énergétique dans les pays émergents et aux nouvelles contraintes environnementales, déstabilisent davantage des industries déjà fragilisées. La compréhension de l'effet des prix de l'énergie et des contraintes environnementales sur la compétitivité de l'industrie manufacturière constitue donc une problématique majeure pour l'économie des grands pays développés. **Quels sont les effets d'une asymétrie des prix de l'énergie et des régulations environnementales entre pays sur la compétitivité de l'industrie manufacturière ?**

La croissance extraordinaire de la production industrielle dans les pays émergents, notamment en Chine, implique une concurrence accrue pour les acteurs industriels. Les économies émergentes sont désormais susceptibles de concurrencer les pays développés dans tous les secteurs d'activité (Berthou & Crozet, 2011). Cette croissance est également liée à une très forte augmentation de la demande en énergie dans ces pays. Le basculement du centre de gravité de l'industrie mondiale vers l'Asie et les pays émergents, s'accompagne aussi d'une réorientation des marchés mondiaux de l'énergie. Or, « *notre pays n'est pas un isolat énergétique ; [...], ses entreprises se développent et sont en compétition sur les marchés mondiaux, la contrainte climatique est mondiale, la crise financière est*

*durable et profonde. »* (Percebois & Mandil, 2012, p.10). Ainsi, pour l'industrie qui occupe encore une place de moteur de l'économie des pays développés malgré son déclin dans la valeur ajoutée et dans l'emploi (Le Blanc, 2009), les enjeux économiques, énergétiques et climatiques sont cruciaux. Les récentes fermetures ou mises à l'arrêt de grands sites industriels en France, ArcelorMittal à Florange dans la sidérurgie, Peugeot-Citroën à Aulnay-sous-Bois dans l'automobile ou la restructuration des activités de recherche du groupe pharmaceutique Sanofi, ravivent alors le débat sur la place de l'industrie et sur les causes de la désindustrialisation. La complexité et les incertitudes liées à une nouvelle concurrence, aux tensions sur les marchés de l'énergie et aux contraintes environnementales brouillent alors la conception et les négociations sur de possibles politiques d'adaptation.

La compétitivité est alors au cœur des enjeux des nouvelles stratégies industrielles, énergétiques et environnementales (Atoche-Kong et al., 2010). Cependant, la compétitivité industrielle demeure un concept relatif et ambigu, sans définition économique (Le Blanc, 2012). L'absence de définition précise n'est cependant pas un frein à une étude économique mais est, au contraire, le reflet d'un besoin de clarification et d'analyse du concept, de ses déterminants et de ses enjeux dans le débat actuel. Dans ce but, pour éviter toute confusion ou conclusion hasardeuse, il est nécessaire de restreindre la notion de compétitivité à certains de ses aspects (Berthou & Crozet, 2011), à ceux qui concernent principalement les industries grandes consommatrices d'énergie. En effet, ces industries produisent majoritairement des produits standardisés pour lesquels le positionnement en gamme reste limité. Cette thèse analyse donc surtout la compétitivité-prix de ces secteurs en intégrant non seulement les coûts du travail et la productivité, mais aussi des facteurs essentiels à ces industries : l'énergie, les matières premières et les économies d'échelle. Notamment, alors qu'il n'y a pas grand sens à comparer les coûts du travail entre les pays sans considérer les écarts de productivité (Berthou & Crozet, 2011), ce ne sont pas uniquement les prix de l'énergie qui sont étudiés dans cette thèse, mais également les coûts de l'énergie par tonne de production, reflétant ainsi à la fois les prix de l'énergie et l'efficacité énergétique. **En se basant sur cette définition simple de la compétitivité, quels en sont les déterminants pour l'industrie manufacturière, notamment pour les industries grandes consommatrices d'énergie ? Quel est alors le rôle de l'énergie par rapport aux autres déterminants de la compétitivité ?**

Afin de répondre à cette problématique, il est essentiel de définir précisément la situation de l'énergie dans l'industrie. Pourtant, si l'on peut facilement identifier les secteurs qui ont des coûts de l'énergie élevés, on s'aperçoit bien qu'une hausse des prix de l'énergie, ou l'instauration d'une contrainte environnementale, n'affecte pas uniquement ces secteurs grands consommateurs d'énergie mais aussi les secteurs en aval dans la chaîne de production industrielle. Avec la globalisation de l'industrie manufacturière, la situation de l'énergie dans l'industrie évolue très vite. Avec la hausse de la part des importations dans la consommation et dans les exportations des pays développés, c'est-à-dire avec la fragmentation croissante de la production industrielle internationale, les flux d'énergie contenue dans les produits manufacturés deviennent massifs. L'énergie qui est nécessaire pour produire une voiture en France, tout au long de la chaîne de valeur industrielle, a été consommée dans une multitude de secteurs et de pays différents. Il existe des interdépendances fortes entre les secteurs industriels, notamment entre les industries grandes consommatrices d'énergie et les secteurs en aval, et entre les pays industrialisés. La description de ces interdépendances pour l'énergie et pour le dioxyde de carbone reflète ainsi la dépendance de chaque secteur industriel à l'évolution des prix de l'énergie. **Quelle est alors la place de l'énergie et du CO<sub>2</sub> dans la chaîne de valeur industrielle internationale ?**

Les industries grandes consommatrices d'énergies (IGCE) représentent une partie importante de la consommation d'énergie en France et en Europe. **Pour EDF, à la fois en tant que producteur et fournisseur d'énergie**, ces entreprises sont souvent des clients majeurs. En effet, leurs stratégies industrielles ont des répercussions évidentes sur les résultats de EDF et conditionnent ses choix d'investissement. Il est donc important pour l'entreprise d'avoir une vision objective de la pérennité de la production industrielle sur le territoire. Au-delà des estimations heuristiques, il est nécessaire de comprendre l'influence exacte du coût de l'énergie et des contraintes environnementales sur la compétitivité de l'industrie.

## METHODES

La nouveauté de cette thèse est d'utiliser une approche principalement empirique pour répondre à ces questionnements sur le rôle de l'énergie. A partir de données précises pour un niveau géographique, temporel et sectoriel défini, les méthodes économétriques permettent de déterminer le rôle spécifique de l'énergie dans la compétitivité de l'industrie. L'effet d'asymétries dans les coûts de l'énergie sur le comportement des acteurs industriels peut être testé à partir d'un historique sur différents pays, années et secteurs. En ce sens, les travaux de cette thèse se distinguent de la littérature existante par une approche « inverse », c'est-à-dire en déterminant les mécanismes économiques face à une hausse des prix de l'énergie, plutôt qu'en utilisant ces données pour calibrer un modèle théorique ou numérique déjà établi.

Ainsi de nombreux travaux utilisent des modèles numériques basés sur des élasticités, les choix technologiques ou sur la simulation des comportements concurrentiels pour prévoir ex-ante l'impact d'une régulation environnementale et plus rarement d'une hausse des prix de l'énergie. Mais comme le fait remarquer D. Demailly en conclusion de ses travaux sur la compétitivité dans l'industrie : *« Finalement, on peut regretter un manque de travaux empiriques sur la compétitivité pour comprendre et quantifier les déterminants de la concurrence et aider au développement et au calibrage de modèles pertinents »* (Demailly, 2007, p.198). **Le premier apport de cette thèse est alors d'estimer les réactions des acteurs industriels face aux variations des prix de l'énergie à partir d'observations économiques. Le travail n'est pas prospectif, il a pour but de comprendre les mécanismes qui relie l'énergie, l'environnement et la compétitivité dans l'industrie manufacturière.**

Afin de répondre à cet objectif, il est d'abord essentiel de définir et d'identifier les secteurs industriels les plus dépendants aux variations des prix de l'énergie et à l'instauration de régulations environnementales ; les industries grandes consommatrices d'énergie (IGCE). De plus, la notion de compétitivité étant large et mal définie, les différents aspects de ce concept sont donc discutés.

Ensuite, le recours à l'économétrie apparaît comme le moyen le plus efficace pour analyser les observations passées sur l'industrie. Cette thèse analyse cette question de trois manières distinctes mais complémentaires, portant chacune sur une échelle et sur des mécanismes différents : les exportations bilatérales entre pays partenaires, la localisation de la production et les changements de capacités dans les sites de production. Ces travaux économétriques, sur l'impact des prix de l'énergie et l'identification des déterminants de la compétitivité, sont concentrés sur les industries grandes consommatrices d'énergie. Deux secteurs représentatifs de ces industries sont étudiés en détails : la

sidérurgie et l'industrie du papier. L'échelle de l'étude est internationale, elle s'étend sur 32 pays répartis dans le monde, entre 1995 et 2006.

Dans un premier temps, l'analyse économétrique de l'industrie du papier et de la sidérurgie permet de quantifier l'effet d'une asymétrie des coûts de l'énergie sur les échanges internationaux de produits manufacturés. **Une analyse des flux bilatéraux est alors réalisée avec l'utilisation d'un modèle de gravité du commerce internationale**, augmenté d'une variable décrivant les coûts de l'énergie selon les pays et les années. La répartition des flux d'échanges commerciaux est d'abord estimée selon la taille des pays partenaires et la distance les séparant. L'effet des coûts de l'énergie sur les exportations vers chaque pays partenaire est alors évalué en calculant la déviation induite par une asymétrie des coûts par rapport à l'estimation initiale.

Un point important de cette estimation économétrique réside dans l'utilisation des coûts de l'énergie par tonne de papier ou d'acier produite, et non pas seulement des prix. Dans l'industrie du papier, les coûts des combustibles sont distingués de ceux de l'électricité. En effet, il est important d'étudier à la fois les prix de l'énergie et l'efficacité énergétique des industriels. L'abondance en énergie ne crée pas directement un avantage comparatif pour un pays si cette énergie n'est pas utilisée efficacement.

La spécification de ce modèle s'appuie sur les travaux théoriques d'Eaton et Kortum (2002). Ces deux auteurs ont développé un modèle sur les échanges commerciaux internationaux, se basant sur la théorie de Ricardo, qui identifie la productivité et les coûts domestiques de production à partir d'un modèle de gravité. Une interprétation structurelle est donnée à l'équation de gravité des échanges internationaux, dans laquelle les parts de marché sont déterminées par des effets fixes pour les exportateurs et les importateurs et par les barrières géographiques à l'échange. En contrôlant des déterminants traditionnels des modèles de gravité, un haut niveau d'exportation d'un pays révèle soit des coûts de production plus faibles, une meilleure productivité ou des barrières à l'échange moins importantes. Les effets fixes contrôlent le niveau national de la productivité et la structure des coûts. En conséquence, dans un modèle de gravité standard incluant des données sur les coûts de l'énergie, le niveau des exportations est expliqué par ceux-ci en plus des spécificités nationales représentées par les revenus nationaux, les barrières géographiques et les effets fixes (Levchenko & Zhang, 2011).

**La deuxième étude porte sur la localisation de la production au niveau des industries nationales. L'objectif est d'identifier et de pondérer les principaux déterminants de cette localisation pour une industrie nationale.** Une étude économétrique, en données de panel, est réalisée pour déterminer les facteurs d'évolution des productions nationales. Cette étude introduit, en tant que variables explicatives, non seulement les coûts de l'énergie mais également la consommation domestique, la productivité, le prix de la main d'œuvre et son niveau de formation, l'abondance de matières premières ainsi que l'ouverture du pays au commerce international.

Le modèle est donc basé sur des données de plusieurs séries temporelles réparties entre plusieurs pays à travers le monde ; c'est une méthode « Time-Series Cross-Section ». La spécification de ce modèle s'appuie également sur les travaux théoriques d'Eaton et Kortum (2002). Afin de corriger à la fois des problèmes d'hétéroscédasticité, de corrélation temporelle et contemporaine entre les pays, une méthode de panel avec des écarts types corrigés (PCSE) est mise en place à la fois avec et sans effets fixes par pays ou par zone géographique.

**La dernière étude détermine les facteurs de compétitivité au niveau des usines et des fours sidérurgiques, par l'analyse des changements de capacité site par site.** En utilisant des méthodes économétriques adaptées à la nature discrète des données, l'objectif est de comprendre les mécanismes



de choix de localisation des fermetures et des investissements dans l'industrie sidérurgique. Cette échelle d'étude, plus locale, permet la prise en compte de facteurs propres aux usines, tels que les économies d'échelle, l'âge technique de l'équipement ainsi que la nature des procédés et des produits.

A cette échelle, deux méthodes économétriques sont utilisées. L'une décrit un choix ordonné d'évolution des capacités de production d'une usine sidérurgique avec un modèle logit ordonné incluant des effets individuels. On considère alors que les industriels effectuent un choix sur l'évolution d'une usine entre une augmentation des capacités, la stabilité, la baisse ou la fermeture totale. La seconde méthode étudie plus précisément les fours sidérurgiques à l'intérieur des usines. Cette échelle permet d'étudier spécifiquement le rôle de l'âge technique des capacités sur leur fermeture avec un modèle de survie, dit de Cox. L'analyse consiste à analyser si les variables de compétitivité accélèrent ou, au contraire, retardent la fermeture d'un four.

**Le second apport principal de cette thèse est de développer un outil détaillé pour l'analyse des interdépendances énergétiques et environnementales entre secteurs industriels et entre les pays sur un périmètre mondial.** L'objectif est d'étudier le rôle de l'énergie dans la compétitivité de l'ensemble de l'industrie manufacturière, plus seulement dans les IGCE. Pour cela il est nécessaire de connaître les flux d'énergie contenue dans les échanges de biens intermédiaires entre secteurs industriels et entre pays.

Cette étude se base sur une combinaison matricielle des tableaux entrées-sorties des comptes nationaux, des flux bilatéraux entre pays et d'une base de données sur la consommation d'énergie spécifique à chaque secteur et à chaque pays. Cette étude est statique et ne porte que sur l'année 2005. Elle est centrée sur l'industrie manufacturière avec un niveau de désagrégation sectoriel important : 59 secteurs industriels dans chaque pays européen et 17 secteurs dans les autres zones géographiques. Les autres secteurs de l'économie, tels que les services, le résidentiel ou la production d'énergie, ne sont pas pris en compte. Les émissions de CO<sub>2</sub> des secteurs de l'énergie sont tout de même intégrées dans les calculs afin d'analyser les conséquences d'une taxe carbone (ex. émissions pour la production d'électricité). L'application des résultats de ces travaux dans des modèles plus élaborés permet de quantifier les variations dans la dépendance énergétique et dans la répartition des coûts d'une taxe carbone européenne entre chaque secteur industriel.

## **PLAN ET RESULTATS**

**Cette thèse est organisée pour que chacune de ses quatre analyses puissent être lue de manière indépendante mais également comme un ensemble cohérent.** Les chapitres liés à chaque étude sont construits en incluant l'état de l'art, la méthodologie utilisée ainsi que les résultats et leur analyse. Le lecteur pourra donc se reporter indépendamment sur chacun de ses points. Cette thèse, dans son ensemble, suit également un fil conducteur basé sur la détermination et la pondération du rôle de l'énergie et des régulations environnementales sur la compétitivité de l'industrie manufacturière.

- **Le chapitre I** trace à partir du contexte actuel les principaux enjeux que constituent l'énergie et la compétitivité pour l'industrie. L'accent porte principalement sur la France et l'Europe. Les évolutions récentes de l'activité industrielle, de la consommation et des prix de l'énergie dans le monde, ainsi que les enjeux climatiques, anticipent la nécessaire adaptation des industries dans les

prochaines années. La discussion porte alors sur l'adéquation des politiques publiques, industrielles et énergétiques, aux évolutions attendues.

La situation de l'énergie dans l'industrie est analysée plus en détails dans une deuxième section. Une part significative et croissante de l'énergie est consommée par l'industrie dans le monde. L'énergie constitue une part importante des coûts de production dans un quart des industries. Pour ces industries, les achats de produits énergétiques représentent plus de 3 % de la valeur de production et plus de 10 % de la valeur ajoutée en Europe. Ces secteurs peuvent alors être identifiés comme des industries grandes consommatrices d'énergie (IGCE). Ce sont les secteurs industriels les plus dépendants à l'évolution des prix de l'énergie. Ces IGCE ne constituent par pour autant un groupe homogène d'industries. L'analyse de la taille et donc de l'importance économique, de la structure des dépenses et des performances économiques des secteurs avec des achats importants d'énergie démontre une forte disparité des secteurs entre eux. Il est cependant possible de regrouper des secteurs IGCE dont la structure économique est plus homogène, par leur importance dans l'industrie européenne ainsi que par leur concentration: la chimie de base, la sidérurgie, les produits minéraux non-métalliques, le papier et les métaux non-ferreux. Il est donc envisageable d'étendre les conclusions des études sur la sidérurgie et l'industrie du papier, à ce sous-ensemble d'IGCE.

La troisième section du premier chapitre se concentre sur la notion de compétitivité pour en extraire les bases économiques nécessaires aux travaux dans les chapitres suivants. L'étude de l'impact des prix de l'énergie sur l'industrie nécessite de restreindre cette notion aux aspects les plus pertinents de la compétitivité des IGCE. Dans ces travaux, le choix est d'étudier la compétitivité d'une industrie nationale sur le court terme, à la fois sur les marchés domestiques et à l'international. De plus, une étude complémentaire sur les sites de production impose d'étudier la compétitivité d'un site de production sur le long terme. L'accent porte sur la comparaison de l'effet des facteurs de production sur la compétitivité des IGCE.

- **Le chapitre II** constitue le cœur du travail de cette thèse sur l'impact des prix et des coûts de l'énergie sur la compétitivité industrielle. Les trois principales études économétriques sont regroupées dans ce chapitre autour de l'étude de deux industries grandes consommatrices d'énergie : la sidérurgie et l'industrie du papier. Une analyse complète de la situation économique et concurrentielle dans ces deux secteurs est présentée dans la première section.

La deuxième section, centrée sur le modèle de gravité du commerce international, analyse l'effet des coûts de l'énergie sur les exportations des industries nationales. Une hausse des coûts de l'énergie induite par une hausse des prix de l'énergie ou par une baisse de l'efficacité énergétique, diminue les exportations de papier et d'acier d'un pays et donc sa compétitivité internationale. Dans l'industrie du papier, une hausse de 1 % du ratio des coûts de l'électricité, entre le pays exportateur et le pays importateur, implique une diminution des exportations du pays exportateur de 0.09 %. Une hausse similaire du ratio des coûts des combustibles implique une baisse de 0.14 % des exportations. Dans l'industrie sidérurgique, une telle hausse du ratio des coûts de l'énergie induit une baisse de 0.19 % des exportations. Ces résultats permettent de prévoir l'impact d'une hausse des coûts de l'énergie sur les exportations et les importations de ces secteurs.

La troisième section porte sur la localisation de la production des IGCE dans les pays. Les coûts de l'énergie déterminent à la fois le niveau relatif de production et de compétitivité des industries nationales et l'évolution de ce niveau dans un pays au cours du temps. Cependant, cette influence reste modérée vis-à-vis d'autres facteurs de compétitivité tels que la proximité des marchés, la productivité

et les salaires. Pour les deux IGCE étudiées, la localisation de la production reste fortement liée à la proximité de la demande. Les différences de salaires sont également un élément majeur de la localisation de la production, même pour deux industries peu intensives en main d'œuvre. Ce n'est pas tant l'effet marginal des salaires qui importe mais l'écart majeur des salaires entre les pays. L'investissement joue aussi un rôle prépondérant dans l'évolution de la compétitivité des industries nationales du papier et de l'acier. L'impact des matières premières dépend fortement du secteur. Elles sont cruciales dans la localisation de l'industrie du papier mais peu influentes pour la sidérurgie.

Dans la sidérurgie, une moyenne sur deux ans des coûts de l'énergie supérieure de 1 % à la moyenne internationale diminue d'environ 0.33 % la production nationale d'acier d'un pays par rapport aux autres pays. Pour l'industrie du papier, une hausse relative de 1 % des coûts de l'électricité réduit de 0.06 % la production nationale par rapport à la moyenne internationale. De même, une hausse similaire des coûts des combustibles implique une baisse relative de 0.08 % de la production de papier dans un pays. Ces résultats peuvent, par la suite, être inclus dans des modèles numériques afin de simuler les mécanismes de compétitivité liés à une hausse des coûts de l'énergie, en plus d'une modélisation du choix technologique.

Enfin, la dernière partie se concentre sur la compétitivité au niveau des usines dans la sidérurgie. Les changements de capacité dans l'industrie sidérurgique sont également influencés par les prix de l'énergie. Des prix élevés de l'énergie par rapport à la concurrence ne représentent pas le facteur principal des choix de localisation de la production ou des capacités, mais amplifient les problèmes de compétitivité des sites sidérurgiques qui sont déjà dans une situation défavorable. Notamment, dans la sidérurgie, des prix de l'électricité supérieurs d'un écart-type à la moyenne internationale impliquent un risque de fermeture annuel deux fois supérieur à la moyenne pour un four à arc électrique. La connaissance des facteurs de fermeture des sites de production est utile pour la prévision de la consommation d'énergie et pour l'élaboration de politiques de compétitivité industrielle.

- **Le chapitre III** décrit la construction d'un modèle entrées-sorties international permettant l'étude des flux d'énergie et de dioxyde de carbone contenus dans les produits manufacturés. Une approche multi-régionale (MRIO) et multi-directionnelle est utilisée. Cela implique que tous les tableaux entrées-sorties nationaux sont reliés entre eux grâce aux échanges commerciaux et que toute la chaîne de production industrielle internationale, de l'extraction minière au produit final, est incluse dans le calcul. En ce sens, l'étude rejoint la méthodologie des travaux les plus avancés sur le thème, qui se sont surtout concentrés sur l'étude du CO<sub>2</sub>. Cependant, les travaux de cette thèse se distinguent par l'utilisation de données sectorielles beaucoup plus précises sur l'industrie manufacturière dans chacun des pays européens. Au lieu d'étudier 17 secteurs industriels distincts, l'analyse porte sur 59 secteurs avec des fonctions de production, des intensités énergétiques et des structures d'importations différentes dans chaque pays. Cette plus grande précision améliore significativement les résultats et permet l'identification précise des secteurs industriels. Ce dernier point est essentiel dans la mise en place d'applications concrètes basées sur les résultats de l'énergie contenue dans les produits manufacturés, « l'énergie grise ».

La deuxième section de ce chapitre présente une nouvelle cartographie des flux énergétiques dans le monde. Les résultats de l'analyse montrent que l'énergie contenue dans les biens manufacturés peut jouer un rôle essentiel dans la production et la consommation manufacturières européennes. Notamment, l'énergie contenue dans les produits manufacturés importés en UE (3160 TWh) en 2005, équivaut à 75 % de la consommation totale d'énergie de l'industrie européenne. La dépendance de

l'industrie aux prix de l'énergie, et donc sa compétitivité, n'est pas seulement un enjeu national, mais une problématique européenne voire mondiale. Une part significative de l'énergie nécessaire à la production industrielle européenne dépend de l'évolution des prix de l'énergie dans les pays hors-UE.

Deux applications de ces résultats, sur l'impact d'un changement structurel de l'industrie pour la demande en énergie et sur les effets distributifs d'une taxe carbone européenne, constituent la dernière section. En considérant que les liens entre secteurs industriels demeurent constants, l'énergie grise permet d'identifier la localisation et l'intensité des changements de consommation d'énergie. La seule prise en compte des changements dans un secteur en évolution, en isolation du reste de l'industrie manufacturière, revient à perdre une grande partie de l'information sur les variations de la consommation d'énergie. Au niveau d'une taxe carbone européenne, les effets distributifs sont très inégaux entre les secteurs industriels et également entre les pays européens. De plus, les coûts induits par les émissions directes ne constituent qu'une part des coûts totaux liés à une taxe carbone pour l'industrie. La hausse du prix des biens intermédiaires peut également constituer une part très significative de l'impact de la taxe carbone sur la compétitivité de la plupart des industries européennes. Ainsi, des secteurs industriels, comme la production d'équipements automobiles, risquent de perdre en compétitivité face aux concurrents hors-UE avec l'instauration d'une taxe sur le CO<sub>2</sub>, sans bénéficier de mesures de compensation.

**La conclusion** résume l'idée directrice de cette thèse et les principaux résultats obtenus. Les principaux apports de la thèse sont les suivants :

- **Etude détaillée des mécanismes de compétitivité industrielle liés aux coûts de l'énergie pour une échelle sectorielle, géographique et temporelle définie.** Les études antérieures considèrent ces mécanismes au travers de modèles théoriques ou numériques. L'absence de résultats sur des observations historiques rend difficile le calibrage de ces modèles. De même, les études sur le rôle des prix de l'énergie ont pour la plupart une approche macroéconomique, sur l'industrie dans son ensemble. Les fortes disparités entre secteurs industriels empêchent l'application de ces travaux à des industries précises.
- **Adaptation et mise en œuvre de méthodes économétriques spécifiques à chaque aspect de la compétitivité.** La compétitivité est étudiée selon différents niveaux ; des exportations et de la production d'une industrie nationale et des changements de capacité des sites de production. L'application des méthodes économétriques répond donc aux particularités de chaque niveau, tout en mettant en avant le rôle de l'énergie. La comparaison des résultats sur différentes échelles et méthodes renforce la robustesse des conclusions et permet de mettre en évidence des déterminants particuliers de la compétitivité des industries IGCE, comme l'âge technique ou les économies d'échelle.
- **Mise en relation des données économiques et énergétiques au niveau international pour le calcul de l'énergie contenue dans les produits manufacturés.** L'apport principal consiste à utiliser une nomenclature précise de l'industrie dans chaque pays européen afin d'améliorer la précision des calculs et de mieux identifier les secteurs dont la compétitivité est potentiellement affectée par une hausse des prix de l'énergie ou du CO<sub>2</sub>. Contrairement aux études précédentes, il est ainsi possible de situer les évolutions de la consommation d'énergie dans l'industrie.

Enfin, les principales conséquences de ces résultats sur les politiques industrielles, énergétiques et environnementales sont présentées en quelques points précis. L'analyse des limites des travaux et des perspectives d'améliorations qui y sont liées constituent la dernière partie de la conclusion. Notamment, l'extension des résultats aux autres IGCE reste encore incertaine. De plus, les résultats

économétriques restent valables dans un cadre historique et géographique précis. Ils ne prennent pas en compte les effets de la crise économique de 2008. En outre, l'étude sur l'énergie contenue dans les produits manufacturés est basée sur une seule année. Elle n'apporte pas d'information sur la dynamique des flux d'énergie.

Deux publications ont été réalisées à partir des travaux de cette thèse. La première concerne l'énergie grise et sa prise en compte pour l'estimation des effets distributifs d'une taxe carbone européenne. La seconde décrit les résultats économétriques sur le rôle de l'énergie dans l'industrie du papier :

- Bordigoni, M., Hita, A., Le Blanc, G., 2012. Role of embodied energy in the European manufacturing industry: Application to short-term impacts of a carbon tax. *Energy Policy*, 43, pp. 335-350.
- Bordigoni, M., Hita, A., Le Blanc, G., Econometric Analysis of the Paper Industry Competitiveness: The Role of Energy Costs. En cours de revue depuis le 25 Mai 2012, dans la revue « *Journal of Forest Economics* ».

---

## **CHAPITRE I**

### **ENERGIE ET COMPETITIVITE : QUELS SONT LES ENJEUX POUR L'INDUSTRIE ?**

---

## SOMMAIRE DU CHAPITRE I

<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>19</b>
<b><u>1.1) INCERTITUDES SUR LA COMPETITIVITE INDUSTRIELLE ET SUR L'AVENIR DU SYSTEME ENERGETIQUE.....</u></b>	<b>21</b>
<b>1.1.1) La compétitivité industrielle d'un point de vue économique, politique et social.....</b>	<b>22</b>
1.1.1.1) La place de l'industrie dans l'économie .....	22
i. Le poids de l'industrie dans l'économie française.....	22
ii. Une compétitivité industrielle menacée .....	27
1.1.1.2) Conséquences sociales de la désindustrialisation .....	33
1.1.1.3) Discussion autour d'une stratégie industrielle européenne .....	35
<b>1.1.2) Un débat sur la question énergétique.....</b>	<b>36</b>
1.1.2.1) Les enjeux économiques .....	36
i. Une demande en énergie en forte croissance dans les pays émergents.....	36
ii. L'adaptation de l'offre énergétique à cette forte demande.....	39
iii. Evolution historique des prix de l'énergie .....	42
1.1.2.2) La sécurité de l'approvisionnement en énergie.....	47
i. Une dépendance croissante aux importations d'énergies fossiles .....	47
ii. Une forte dépendance de l'approvisionnement en énergies fossiles à des pays plus ou moins stables.....	50
iii. Les enjeux d'un marché électrique commun pour l'Europe .....	52
1.1.2.3) L'aspect environnemental .....	53
i. Le risque climatique.....	53
ii. Politiques environnementales en Europe.....	55
iii. Enjeux pour la compétitivité de l'industrie.....	57
<b>1.1.3) Conclusion sur le contexte économique et énergétique.....</b>	<b>59</b>
<b><u>1.2) L'ENERGIE DANS L'INDUSTRIE MANUFACTURIERE : LES INDUSTRIES GRANDES CONSOMMATRICES D'ENERGIE.....</u></b>	<b>60</b>
<b>1.2.1) La consommation d'énergie dans l'industrie manufacturière.....</b>	<b>60</b>
1.2.1.1) Répartition de la consommation d'énergie dans l'industrie entre pays et secteurs.....	60
i. L'énergie dans l'industrie mondiale.....	60
ii. L'énergie dans l'industrie européenne .....	63
1.2.1.2) Les coûts de l'énergie dans l'industrie manufacturière en Europe.....	65
<b>1.2.2) Structure économique des IGCE : Des secteurs homogènes ? .....</b>	<b>69</b>
1.2.2.1) Caractéristiques économiques des secteurs IGCE.....	69
i. Taille économique des secteurs IGCE .....	69
ii. Dépenses et investissements dans les IGCE.....	71
iii. Performances des secteurs IGCE .....	74
1.2.2.2) Les industries IGCE sur le marché mondial.....	76

<b>1.2.3) Adaptation des IGCE face aux enjeux énergétiques et climatiques .....</b>	<b>80</b>
1.2.3.1) Evolution de l'efficacité énergétique dans les IGCE .....	81
1.2.3.2) Intensité en CO <sub>2</sub> des IGCE.....	83
1.2.3.3) Prévision des adaptations futures .....	85
<b>1.2.4) Conclusion sur la place de l'énergie dans l'industrie.....</b>	<b>87</b>
<b><u>1.3) LA NOTION DE COMPETITIVITE DANS L'INDUSTRIE .....</u></b>	<b>88</b>
<b>1.3.1) Une nécessaire qualification du concept de compétitivité .....</b>	<b>88</b>
1.3.1.1) Compétitivité d'une entreprise .....	88
1.3.1.2) Compétitivité nationale .....	89
1.3.1.3) Compétitivité d'une industrie nationale .....	89
1.3.1.4) Mesures de la compétitivité industrielle.....	90
1.3.1.5) Délimitation de la notion de compétitivité dans les travaux de cette thèse.....	92
<b>1.3.2) Proposition de classification des facteurs de compétitivité industrielle .....</b>	<b>94</b>
1.3.2.1) Tableau des facteurs potentiels de compétitivité pour une IGCE .....	94
1.3.2.2) Description des facteurs de compétitivité industrielle .....	95
i. <i>Comportement des acteurs</i> .....	95
ii. <i>Structure économique du marché</i> .....	97
iii. <i>Demande domestique</i> .....	99
iv. <i>Facteurs de production</i> .....	100
v. <i>Environnement réglementaire et structurel</i> .....	101
1.3.2.3) Choix des déterminants étudiés dans les travaux de cette thèse.....	103
<b>1.3.3) Le lien entre énergie et compétitivité dans l'industrie.....</b>	<b>104</b>
1.3.3.1) L'énergie est-elle un « bien comme les autres » ? .....	105
i. <i>Bref historique de la régulation énergétique</i> .....	105
ii. <i>Des imperfections de marché qui font de l'énergie un bien politique</i> .....	106
1.3.3.2) Un besoin d'analyse empirique pour confirmer les travaux sur le lien entre énergie et compétitivité dans l'industrie .....	108
i. <i>Etudes des chocs pétroliers</i> .....	108
ii. <i>Des analyses qualitatives soulignant le rôle essentiel des prix de l'énergie</i> .....	110
iii. <i>Effets d'une taxe environnementale</i> .....	111
<b>1.3.4) Conclusion sur la notion de compétitivité industrielle et son lien avec l'énergie .....</b>	<b>116</b>
<b>CONCLUSION DU CHAPITRE I .....</b>	<b>117</b>



## INTRODUCTION

Les fermetures récentes, ou en cours, de grands sites de production industrielle cristallisent les préoccupations économiques, politiques et sociales de la société française. La mise à l'arrêt des fours sidérurgiques de l'usine ArcelorMittal à Florange, la fermeture du site de production automobile d'Aulnay-sous-Bois de Peugeot-Citroën ou la restructuration des activités de recherche pharmaceutique du groupe Sanofi, remettent en cause l'emploi de milliers de personnes ainsi que l'avenir de nombreux sous-traitants. La poursuite du phénomène de globalisation et de fragmentation de l'industrie manufacturière combinée à une longue crise économique, affecte ainsi très fortement l'industrie manufacturière française et européenne. Les inquiétudes sur la délocalisation des entreprises se transforment en crainte d'« *une perte de substance de l'industrie* » (Fontagné & Lorenzi, 2005, p.9).

Or, si l'industrie manufacturière représente une part de plus en plus faible de l'emploi et de la valeur ajoutée dans l'économie, ce secteur demeure un moteur de l'économie par ces exportations et son rôle dans l'innovation (Le Blanc, 2009). A ce contexte économique morose s'ajoute une transformation importante des marchés de l'énergie dans le monde. Les appréhensions d'hier sur la disponibilité des ressources en énergie cèdent le pas à celles sur le réchauffement climatique (Percebois & Mandil, 2012). Les nouvelles ressources en gaz et en pétrole non conventionnels semblent pouvoir satisfaire la très forte croissance de la demande d'énergie, surtout dans les pays émergents. Cependant, à mesure que les marchés de l'énergie se réorientent vers les pays émergents, des tensions de plus en plus fortes apparaissent sur les prix de l'énergie. Quelles sont les conséquences d'une asymétrie croissante des prix de l'énergie sur l'industrie ?

L'importance et la rapidité de cette nouvelle demande en énergie remet également en cause les scénarios sur une possible réduction des émissions de gaz à effet de serre afin de rester en-dessous du seuil de 450 ppm en concentration de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère<sup>1</sup>. Cette tendance redouble alors les efforts nécessaires pour l'économie dans son ensemble comme pour l'industrie. Mais comment développer une telle politique volontariste dans l'industrie, si aucun accord n'est conclu au niveau international ?

Avant de répondre à ces questions, il est important de définir la place de l'énergie dans l'industrie manufacturière. Ce chapitre décrit la part de l'industrie dans la consommation mondiale d'énergie et inversement le montant des dépenses énergétiques dans chaque secteur industriel. Ce type d'analyse permet d'identifier les industries les plus sensibles à une hausse asymétrique des prix de l'énergie et à l'instauration d'une taxe environnementale sur les émissions de gaz à effet de serre. L'analyse de la structure économique de ces industries permet alors de savoir si elles constituent un ensemble homogène ou non, et donc d'orienter les travaux de recherche.

En outre, la notion de compétitivité est très large et peut être interprétée de nombreuses manières. La clarification et la restriction de ce concept de compétitivité déterminent les objectifs et les limitations des travaux économiques sur l'effet des prix de l'énergie. La description de la littérature économique introduit ensuite les bases théoriques des travaux de cette thèse et fait apparaître le besoin d'analyse du lien spécifique qui existe entre énergie et compétitivité industrielle.

---

<sup>1</sup> 550 ppm (partie par million) pour les gaz à effet de serre.

La première partie de ce chapitre décrit le contexte économique, énergétique et politique de l'industrie manufacturière. L'accent porte principalement sur la situation en France et dans l'Union européenne. Ensuite, la place de l'énergie dans l'industrie est analysée plus en détail dans la seconde partie. Cette partie présente également l'adaptation passée et à venir de l'industrie face aux enjeux climatiques. Enfin, la troisième partie s'attarde sur la notion de compétitivité pour en extraire les bases économiques des travaux dans les chapitres suivants.

## **1.1) INCERTITUDES SUR LA COMPETITIVITE INDUSTRIELLE ET SUR L'AVENIR DU SYSTEME ENERGETIQUE**

**L**e sujet de la thèse, l'effet des prix de l'énergie sur la compétitivité de l'industrie, s'inscrit dans un contexte économique, politique et social polémique et incertain. D'une part, la crise financière et économique affecte fortement l'industrie française et européenne. Malgré une reprise hésitante entre 2010 et 2011, la « crise après la crise » sur les dettes souveraines place l'industrie dans une situation critique, dont les nombreux cas de fermetures et de dépôts de bilan sont le reflet. Le resserrement budgétaire des finances publiques réduit, de plus, la probabilité d'une intervention gouvernementale. L'incertitude sur l'avenir de l'industrie est très forte, tant d'un point de vue économique que social et les moyens d'action sont restreints (CEPII, 2011).

D'autre part, la problématique de l'énergie, même si elle peut paraître secondaire dans la situation économique actuelle, demeure au cœur des grands enjeux français et mondiaux des années à venir. Face à une demande mondiale en énergie en forte croissance, les marchés de l'énergie vont considérablement évoluer dans un avenir proche, s'orientant de plus en plus vers les pays émergents. Malgré les nouvelles sources d'énergie découvertes, pétrole offshore au Brésil et gaz non conventionnels aux Etats-Unis et en Australie, la question de la dépendance énergétique demeure essentielle du fait des incertitudes importantes sur l'accessibilité et sur les prix des combustibles fossiles dans le futur. A cela s'ajoutent les enjeux du réchauffement climatique qui vont vraisemblablement devenir plus contraignants que les problèmes liés aux limites géologiques des réserves d'énergie (Percebois & Mandil, 2012). Néanmoins, un accord international sur une réduction concertée des émissions de gaz à effet de serre semble encore lointain, d'où une possible asymétrie importante et persistante des contraintes environnementales sur les économies. Notamment, des objectifs précis ont été mis en place en Europe, avec le plan d'action « énergie-climat » qui a pour but de mettre en place une politique commune de l'énergie plus durable et de lutter contre les changements climatiques<sup>2</sup>. L'atteinte de ces objectifs, ainsi que la remise en question de la production nucléaire après l'accident de Fukushima, impliquent une redéfinition de la stratégie énergétique des pays européens. Cela constitue alors d'intenses débats parmi lesquels les prix de l'énergie représentent un enjeu majeur de toute politique énergétique ou environnementale.

Cependant, les conséquences réelles des prix de l'énergie sur l'économie, notamment sur l'industrie, sont rarement étudiées en détail. Cela constitue donc l'objectif de cette thèse. L'objet de cette section est de décrire le contexte économique et énergétique dans lequel s'insère la problématique de ce travail.

---

<sup>2</sup> Ce plan d'action définit ainsi l'objectif 20-20-20 pour l'Union européenne en 2030 :

- Augmenter la part des énergies renouvelables à 20 % du mix énergétique
- Réduire les émissions de dioxyde de carbone de 20 %
- Accroître l'efficacité énergétique de 20 %

### 1.1.1) LA COMPETITIVITE INDUSTRIELLE D'UN POINT DE VUE ECONOMIQUE, POLITIQUE ET SOCIAL

#### 1.1.1.1) LA PLACE DE L'INDUSTRIE DANS L'ECONOMIE

Les fermetures emblématiques de sites de production dans les secteurs traditionnels de l'industrie française, telles que la sidérurgie, l'automobile, mais aussi dans la recherche pharmaceutique, soulèvent des inquiétudes grandissantes sur l'avenir de l'industrie en France. Malgré les réponses théoriques avancées par les économistes, sur « *une évolution naturelle des économies avancées* », il semble qu'il ne soit plus uniquement question d'une réorganisation mondiale des spécialisations industrielles mais bien d'une possible « perte de substance de l'industrie française » (Fontagné & Lorenzi, 2005, p.9). La compétitivité industrielle apparaît cruciale dans ce contexte. Afin d'aborder cette problématique de l'avenir industriel en France et en Europe, nous présentons d'abord les dernières évolutions de l'industrie, sa situation dans l'économie et les conséquences sociales de son affaiblissement. Enfin, une discussion est ouverte sur les possibles politiques de stratégie industrielle.

##### i. Le poids de l'industrie dans l'économie française

Avant toute considération sur l'avenir de l'industrie, il convient de définir le poids de l'industrie dans l'économie. Différents périmètres sont possibles pour définir l'industrie. Tout au long de cette thèse, ce périmètre sera limité à l'industrie manufacturière<sup>3</sup>. Les industries énergétiques et extractives sont exclues. Cette définition de l'industrie comprend alors les secteurs suivants :

- Industries agricoles et alimentaires
- Industries des biens de consommation
- Industrie automobile
- Industries des biens d'équipement
- Industries des biens intermédiaires

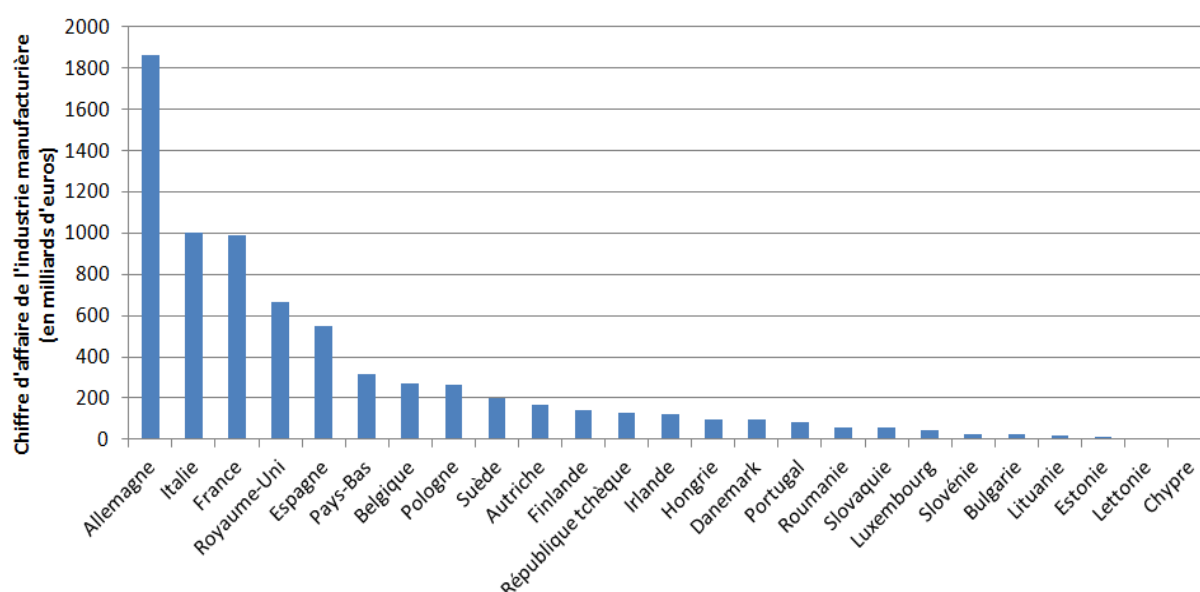
L'industrie regroupe les secteurs économiques possédant les trois caractéristiques économiques suivantes : standardisation des produits et des procédés, rythme important d'innovation et niveau très élevé d'immobilisation et d'investissement en capital (matériel ou immatériel), (Le Blanc, 2005). L'industrie demeure une composante très importante de l'économie française, avec des effets d'entraînement considérables sur l'économie toute entière (CPCI, 2009). Ces effets d'entraînement se présentent sous trois formes différentes: les consommations intermédiaires, les gains de productivité et l'innovation (Le Blanc, 2005).

Dans son ensemble, l'industrie manufacturière représente un chiffre d'affaire global d'environ 7230 milliards d'euros, en 2008, pour toute l'Union européenne des 27 (UE), réparti sur 2.1 millions d'entreprises industriels employant 34 millions de personnes (Eurostat, 2012a). Comme indiqué par la figure 1, l'industrie manufacturière européenne est surtout concentrée dans cinq pays : l'Allemagne, l'Italie, la France, le Royaume-Uni et l'Espagne. Ces cinq pays regroupent environ 70 % du chiffre d'affaire industriel dans l'UE, en 2008. L'Allemagne est de loin le premier producteur industriel

---

<sup>3</sup> L'industrie extractive est également incluse dans l'étude de l'énergie contenue dans les produits manufacturés.

européen. Pour la France, le chiffre d'affaire, en 2008, s'élève à 989 milliards d'euros répartis dans 235 000 entreprises employant environ 3.6 millions de personnes.



**Figure 1 : Chiffre d'affaire de l'industrie manufacturière en Europe en 2008.**  
Sources : (Eurostat, 2012a)

La structure des industries manufacturières européennes indique la spécialisation sectorielle des pays européens (Figure 2). L'Allemagne, principal producteur et exportateur de biens manufacturés en UE, produit principalement des équipements mécaniques et électroniques, des automobiles, des produits chimiques et des métaux. La France et l'Espagne possèdent des spécialisations industrielles assez proches, avec une part importante des industries agro-alimentaires (IAA), des transports (automobile, aéronautique) et des minéraux non-métalliques. Ensuite, l'Italie se distingue par une forte production dans le textile, l'habillement et le cuir. L'industrie polonaise se caractérise par une activité importante dans les IAA ainsi que dans la production de minéraux non-métalliques. La Suède est surtout spécialisée dans les industries du bois et du papier. Le Royaume-Uni possède une spécialisation industrielle assez proche de la structure moyenne de l'UE, avec un avantage dans les transports (non automobiles). La Suisse, en-dehors de l'UE, est beaucoup plus spécialisée, avec une très forte part de la chimie et des équipements mécaniques, électroniques et électriques. Ces données décrivent des contrastes significatifs dans les spécialisations industrielles nationales en Europe. Toute intervention industrielle de type sectoriel de la part de l'Union européenne, induit donc des effets inégaux entre les pays, notamment dans le cas d'une taxe carbone ou d'une régulation sur l'énergie (Le Blanc, 2005).

Le poids dans l'économie européenne de l'industrie manufacturière, mesuré par la valeur ajoutée, décroît régulièrement depuis plusieurs dizaines d'années (Figure 3). L'industrie représentait entre 20 % et 30 % de la valeur ajoutée des pays européens en 1985. En 2009, avec l'effet supplémentaire de la crise de 2008-2009, cette part est descendue entre 10 % et 20 %. La part de l'industrie manufacturière dans la valeur ajoutée nationale a donc diminué d'environ 10 points en Europe en 25 ans. La France fait partie des pays dans lesquels la part de l'industrie est la plus faible avec les Etats-Unis, le Royaume-Uni et dernièrement l'Espagne, avec une part d'environ 10.6 % de la valeur ajoutée totale.

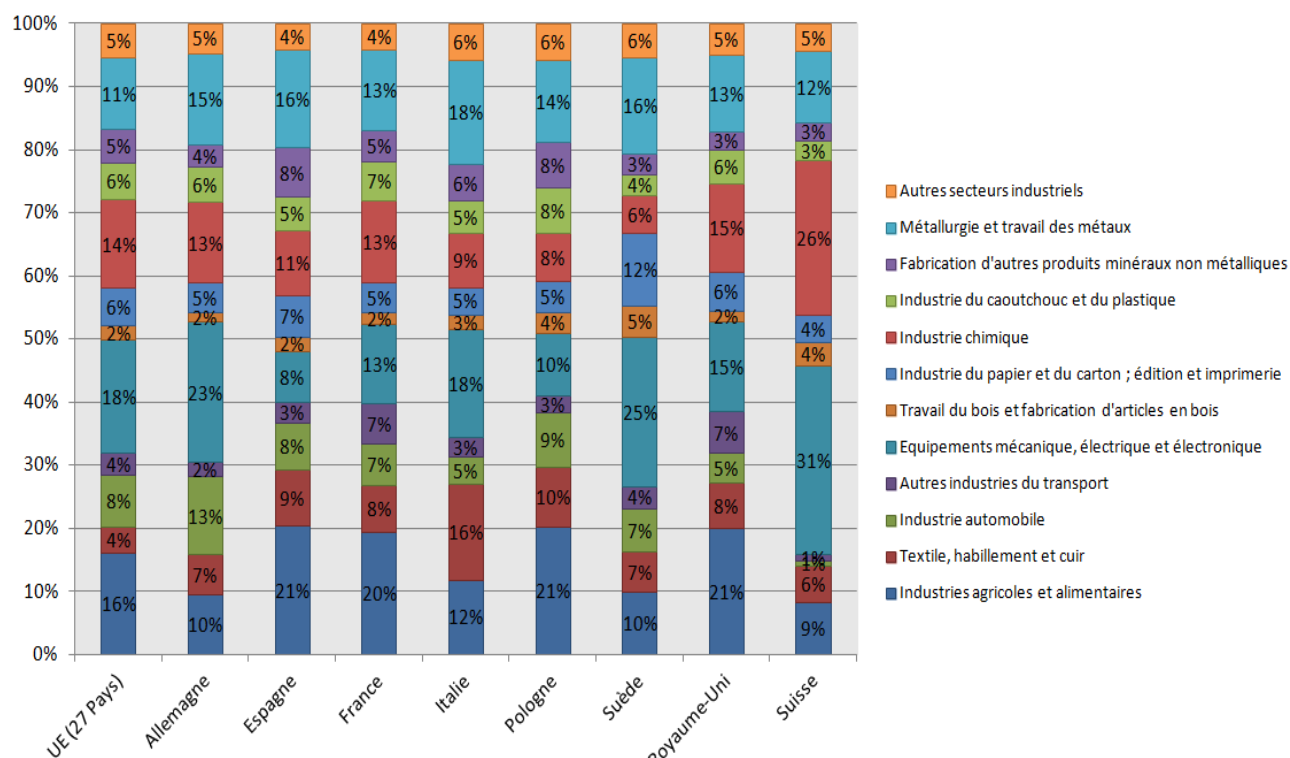


Figure 2 : Composition de la valeur ajoutée de l'industrie manufacturière en Europe en 2009. Sources : Estimé à partir de (Eurostat, 2012a)

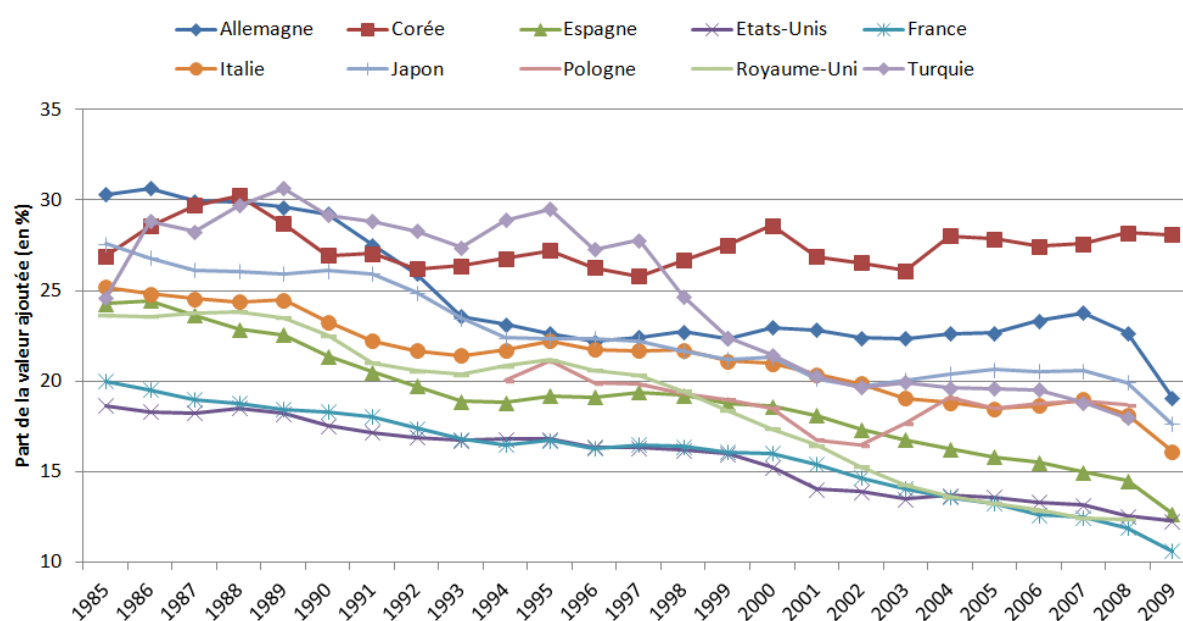


Figure 3 : Part de la valeur ajoutée de l'industrie manufacturière dans l'économie totale. Sources : (OECD, 2011)

Ce constat de baisse du poids de l'industrie dans l'économie se retrouve également dans l'observation de la part que représentent les emplois industriels dans l'économie (Figure 4). L'emploi industriel représente une part minoritaire de l'emploi total dans les pays industrialisés. La moyenne de cette part est passée d'environ 22 % de l'emploi total en 1985, à 15 % en 2009, avec une évolution similaire à celle de la valeur ajoutée industrielle. Cette diminution du poids de l'industrie dans l'économie constitue donc le signe d'une potentielle désindustrialisation dans les pays développés, notamment en France.

La part de l'industrie diminue relativement aux autres secteurs de l'économie, mais l'activité de l'industrie en volume a continué à augmenter au cours des dernières décennies (Le Blanc, 2009). Sa croissance s'effectue à un rythme moins élevé que pour le reste de l'économie (Figure 5), surtout par rapport aux secteurs des services. La valeur ajoutée, en volume, de l'industrie manufacturière française a ainsi augmenté d'environ 25 % entre 1991 et 2008. Malgré tout, les emplois dans l'industrie diminuent en quantité absolue. 25 % des emplois ont été supprimés dans l'industrie manufacturière française entre 1991 et 2008, soit environ 1 million d'emplois.

Ce paradoxe d'une augmentation de la valeur ajoutée de l'industrie parallèle à une baisse de l'emploi et de la part de l'industrie dans la valeur ajoutée de l'économie, s'explique par les modifications profondes de l'organisation industrielle, surtout dans le cas de la France. D'abord, une intense compétition en prix a réduit la valeur des biens industriels par rapport aux services, notamment par des gains de productivité importants (CPCI, 2009), (Le Blanc, 2009). Ensuite, l'industrie a de plus en plus recours à l'externalisation des tâches et à l'intérim. Les emplois sont alors transférés du secteur industriel au secteur des services marchands aux entreprises. La baisse relative de l'emploi et de la valeur ajoutée de l'industrie résulte donc, en partie, d'un artifice de la nomenclature des secteurs économiques (Le Blanc, 2009). Notamment, les services aux entreprises représentent 16.6 % du PIB de la France en 2009, dont une grande partie est achetée par les entreprises industrielles. Celles-ci y consacrent 10 % de leur chiffre d'affaire (CPCI, 2009). Les autres transformations de l'industrie manufacturière sont la multiplication des échelons verticaux de sous-traitance, l'affaiblissement des acteurs de petites tailles au profit d'une concentration accrue sur les marchés industriels et la fragmentation du processus productif en de multiples étapes (Le Blanc, 2005).

Enfin, l'industrie demeure un moteur de l'économie dans les pays industrialisés, par son importance dans les exportations et donc dans la balance commerciale d'un pays. La plupart des échanges commerciaux dans le monde sont des échanges de biens manufacturés. En France, environ 80 % des exportations sont effectuées par l'industrie. De même, l'impact de l'industrie est particulièrement fort en termes de R&D, puisqu'à peu près 88 % des dépenses de la R&D des entreprises sont effectuées dans l'industrie (Le Blanc, 2009). « *Avec l'avenir de l'industrie se joue donc une part importante de l'emploi dans les territoires de France et de la valeur ajoutée nationale mais encore davantage celui de la capacité d'innovation du pays* » (Conférence Nationale de l'Industrie, 2010, p.9). L'investissement dépend aussi, dans une moindre mesure, de l'industrie manufacturière pour 15 % à 20 % des investissements nationaux (Le Blanc, 2009; OECD, 2011).

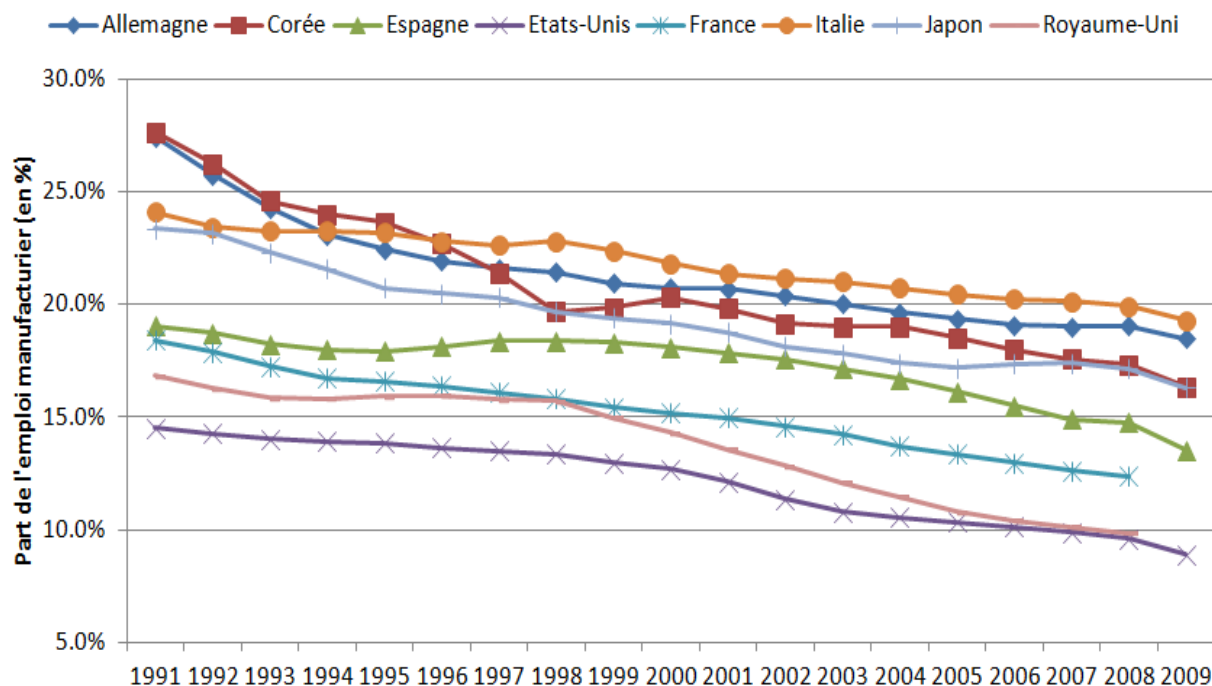


Figure 4 : Part de l'emploi dans l'industrie manufacturière dans l'emploi total de l'économie. Sources : Estimé à partir de données (OECD, 2011)

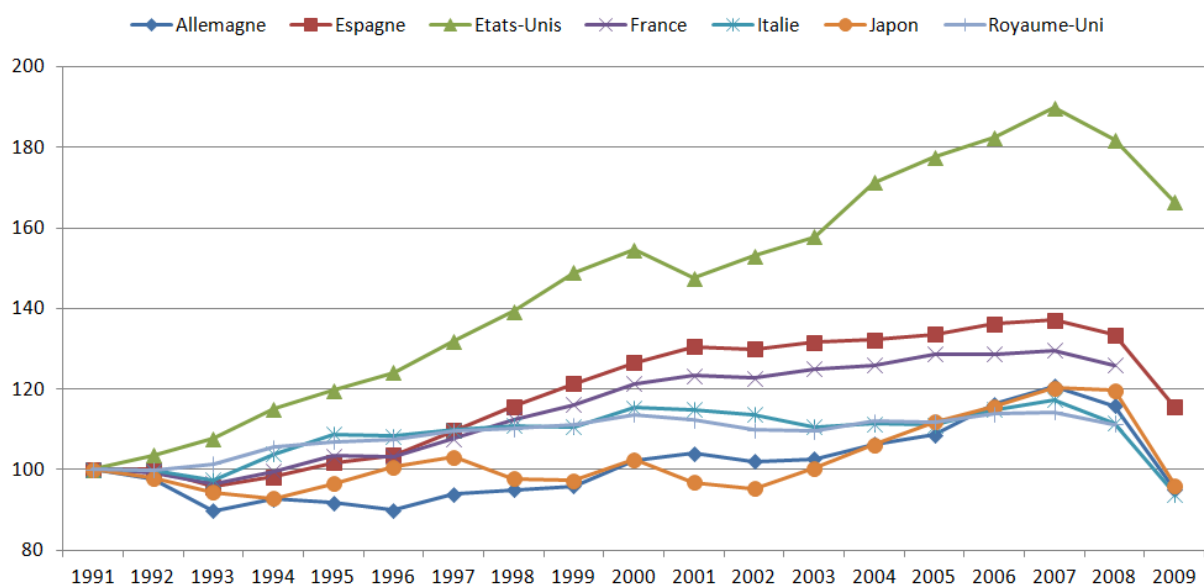


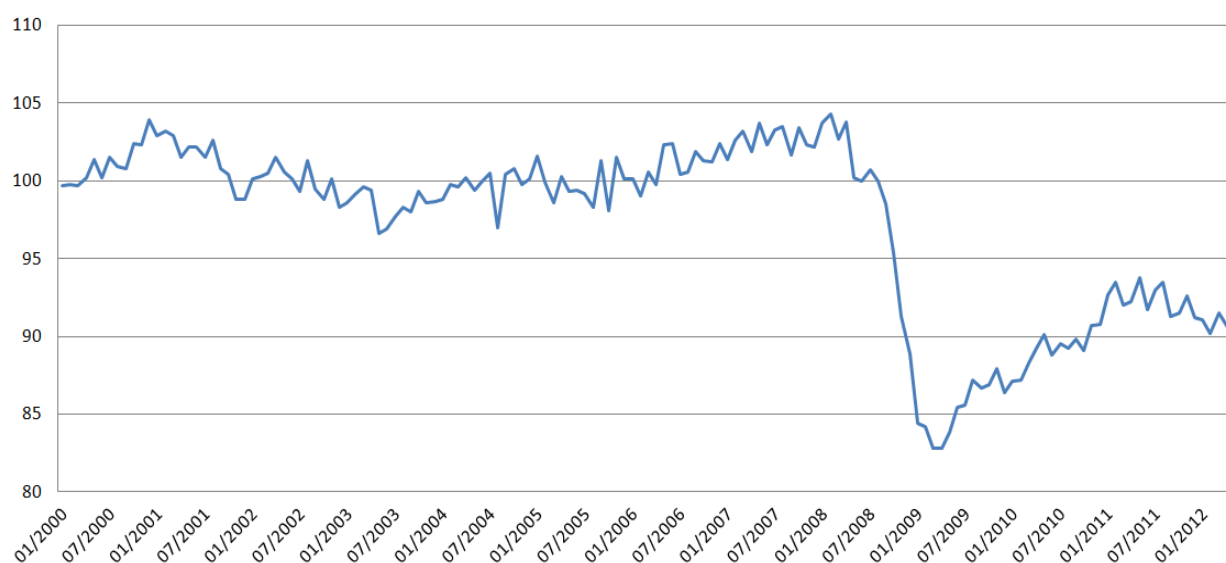
Figure 5 : Evolution de la valeur ajoutée en volume dans l'industrie manufacturière. Indice 100 : 1991. Sources : (OECD, 2011)



## ii. Une compétitivité industrielle menacée

Si, du point de vue de la théorie économique, « *les délocalisations et la sous-traitance internationale constituent simplement une nouvelle manifestation du développement des échanges entre pays industrialisés et pays émergents* » (Fontagné & Lorenzi, 2005, p.14), la crise actuelle qui dure depuis 2008, semble impliquer plus qu'une réorganisation à long terme des spécialisations industrielles mondiales. Dans les graphiques précédents, on note un décrochage net, par rapport à la tendance de long terme, des indicateurs de l'industrie manufacturière à partir de 2009, que ce soit pour la valeur ajoutée ou pour les emplois. La figure 6, représentant l'évolution de la production industrielle depuis janvier 2000 en France, indique clairement une chute très rapide de la production de plus de 20 % entre septembre 2008 et février 2009.

Le fait marquant réside dans la persistance de cette crise pour l'industrie manufacturière. Malgré un bref rebond en 2010/2011, la production demeure largement inférieure à celle d'avant la crise. De plus, la recrudescence des fermetures d'usines, en ce début d'année 2012, augure d'une nouvelle baisse de l'indice de production. Ce décrochage brutal de l'industrie semble montrer la fragilité du secteur manufacturier français en plus de la dynamique économique globale.



**Figure 6 : Indice de production de l'industrie manufacturière en France.**  
**Valeurs corrigées des variations saisonnières. Indice 100 : 2005.**  
**Sources : (INSEE, 2012a)**

En outre, le principal facteur d'inquiétudes sur la compétitivité de l'industrie française réside dans le décrochage qui existe entre la France et le reste du monde, notamment vis-à-vis de l'industrie allemande. Plusieurs indicateurs démontrent la perte de compétitivité des entreprises françaises :

- **Une dégradation de la performance des entreprises à l'exportation par rapport aux pays émergents mais aussi aux concurrents directs.** Les parts de marchés françaises dans le marché mondial ont baissé de 6 % par an depuis l'an 2000, malgré l'augmentation des exportations. L'offre de l'industrie française semble mal adaptée pour pénétrer les marchés émergents, au contraire de l'offre allemande (Institut de l'entreprise, 2012). Ainsi, si une partie de la perte de parts de marché résulte de l'émergence de nouveaux acteurs comme la Chine sur les marchés

mondiaux, le ratio des exportations de la France par rapport à celles de l'Allemagne diminue régulièrement. En 2000, la valeur des exportations françaises représentait 56 % de la valeur des exportations allemandes. Ce taux est descendu à 37 % en 2008 (Conférence Nationale de l'Industrie, 2010). Cette baisse des parts de marché à l'exportation est également constatée dans le commerce intra-européen (Figure 7). Ce n'est donc pas uniquement la concurrence des pays émergents qui grève les parts de marché de l'industrie française.

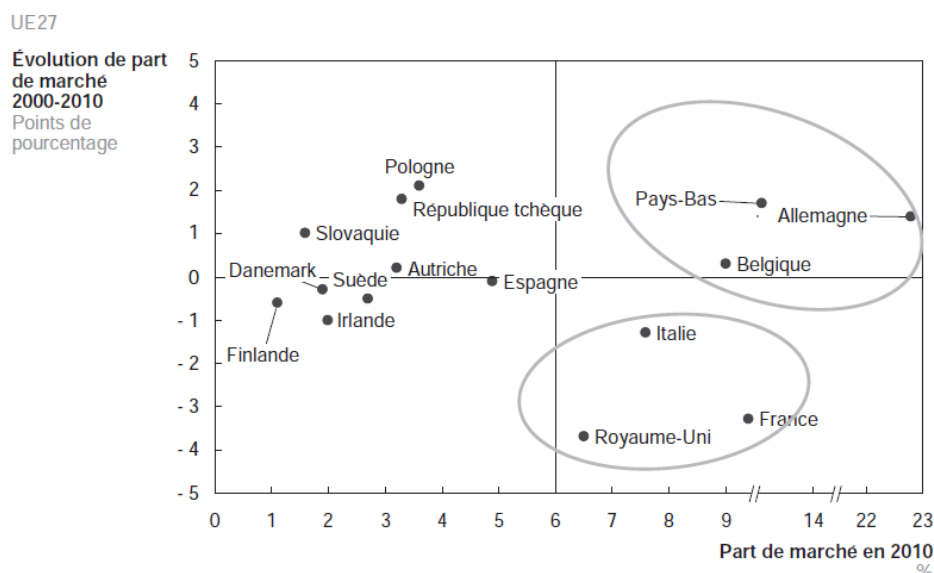
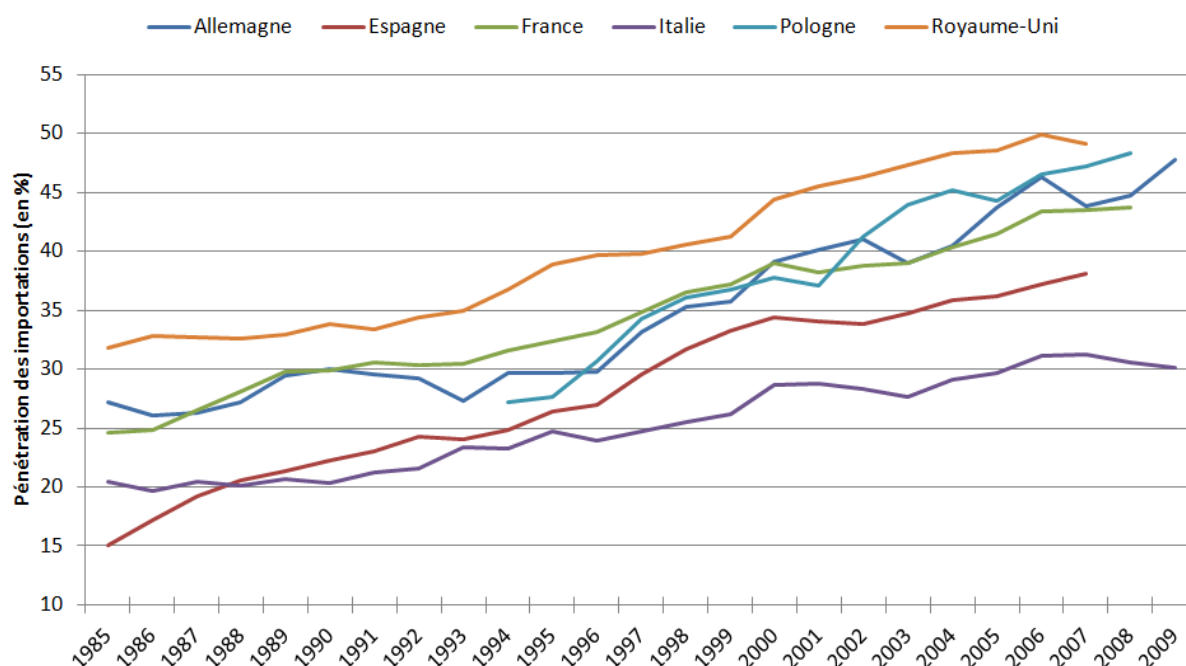


Figure 7 : Evolution des parts de marché à l'exportation des états européens dans le commerce intra-européen. Sources : (Institut de l'entreprise, 2012)

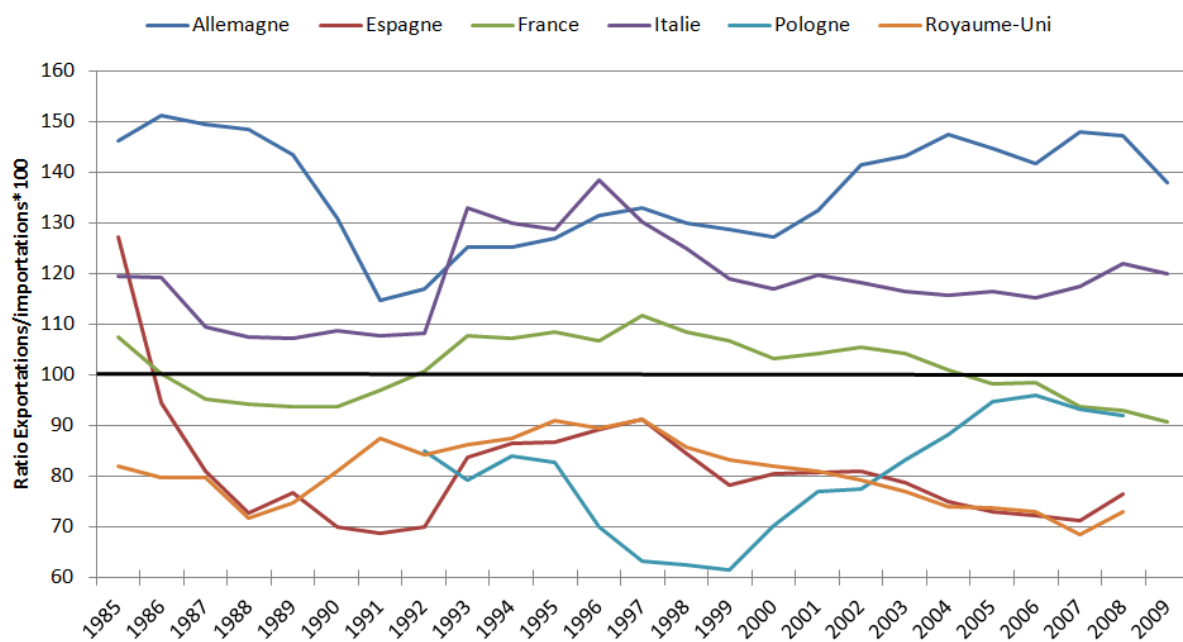
- **Une diminution du nombre d'entreprises exportatrices françaises.** Le nombre d'entreprises exportatrices françaises s'est réduit de 15 % entre 2002 et 2011 (Institut de l'entreprise, 2012). Ce chiffre démontre un recul des industriels français sur le marché mondial.
- **Un déficit de la balance commerciale qui se creuse pour les produits de l'industrie manufacturière,** sans prendre en compte les achats d'énergie (Institut de l'entreprise, 2012). L'augmentation de la pénétration des importations de produits manufacturés est un phénomène majeur et commun à tous les pays européens depuis 1985 (Figure 8). En France, les importations représentaient 25 % de la consommation intérieure en 1985. Elles constituent désormais 45 % de cette consommation. Cette croissance des importations provient à la fois de l'intégration industrielle au niveau de l'Union européenne et de la concurrence des pays émergents. C'est le résultat de la fragmentation croissante de la chaîne de valeur industrielle au niveau international.

Le problème réside surtout dans l'augmentation plus rapide des importations de biens manufacturés que de celle des exportations. Depuis 2005, la balance commerciale pour les biens manufacturés, hors énergie, est déficitaire pour la France. La France importe plus de biens manufacturés qu'elle n'en exporte (Figure 9). Cette balance commerciale globale dissimule des résultats contrastés selon les secteurs industriels. En effet, l'industrie française profite de bonnes performances à l'exportation pour les produits des IAA et pour les biens d'équipements. A l'inverse, la baisse marquée des exportations automobiles, auparavant un secteur important dans la constitution de l'excédent commercial, explique une partie importante de la chute de la balance commerciale. La situation est encore plus grave en Espagne et au Royaume-Uni. Au contraire,

l'Allemagne et l'Italie continuent d'avoir une balance commerciale excédentaire malgré la crise. Notamment, les exportations allemandes sont 40 % supérieures à ses importations en 2009.

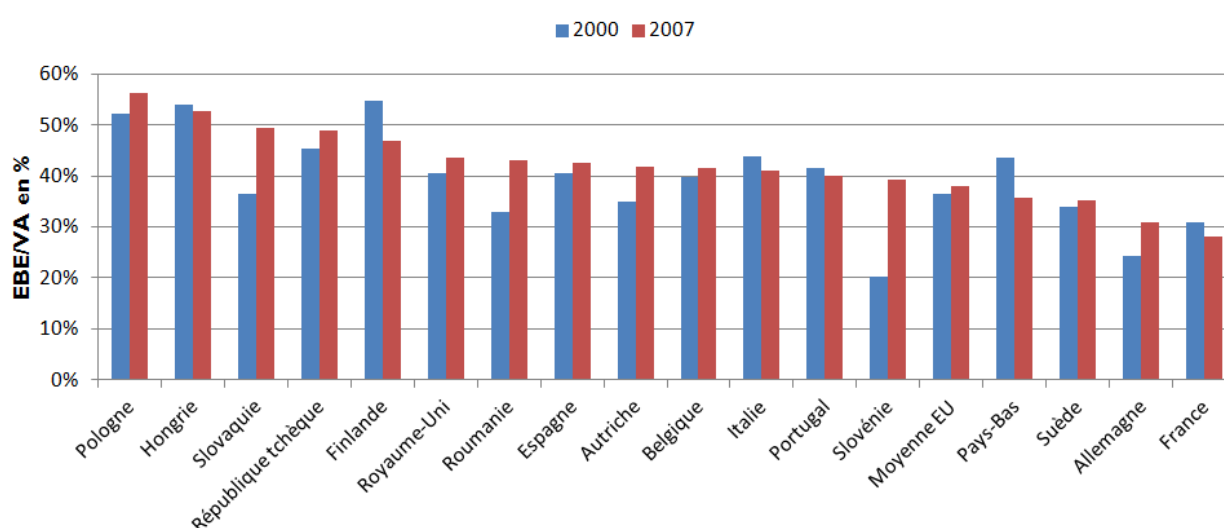


**Figure 8 : Pénétration des importations de biens manufacturés (importation/consommation). Sources : (OECD, 2011)**



**Figure 9 : Ratio exportations sur importations pour les produits de l'industrie manufacturière (hors énergie). Sources : (OECD, 2011)**

- **Des avantages comparatifs en termes de qualité en baisse et un recul des positions en matière de haute technologie** : « *Les dernières informations disponibles confirment la part de marché importante des produits technologiques exportés par l'industrie française, mais aussi un décrochage récent et assez brutal* » (Fontagné & Lorenzi, 2005, p.86).
- **Des marges dans l'industrie française plus faibles que dans les principaux pays de l'Union européenne** (Figure 10). Ces marges ont également tendance à diminuer depuis l'an 2000, au contraire de celles de l'industrie allemande. Ces marges sont un élément déterminant pour une industrie, car des marges élevées facilitent l'accès au financement et donc à l'investissement dans le long terme. De faibles marges induisent ainsi un risque important d'enlisement, car de faibles investissements peuvent à leur tour impliquer une baisse des marges (Conférence Nationale de l'Industrie, 2010).



**Figure 10 : Taux de marge dans l'industrie manufacturière européenne, en 2000 et 2007 (EBE/VA aux coûts des facteurs). Sources : Estimé à partir de (Eurostat, 2012a)**

La dégradation continue de la situation commerciale de l'industrie française, ainsi que le coup d'arrêt imposé par la crise économique depuis 2008, soulèvent donc des interrogations quant à la compétitivité internationale de la France. Plusieurs études économiques tentent alors d'identifier les raisons de cette perte de dynamisme. Les principaux points mis en avant dans ces travaux sont :

- **D'abord, un mouvement de délocalisation qui est la conséquence de la globalisation et de l'ouverture croissante des marchés aux pays émergents.** Cela crée ainsi un mouvement de spécialisation vers les activités les moins intensives en travail, une plus forte pression concurrentielle au niveau de la compétitivité-prix et une réorganisation mondiale de la production des grandes entreprises. La mondialisation de l'industrie induit un processus dynamique de sélection des firmes et des usines les plus efficaces, au bénéfice à la fois des consommateurs et des entreprises (Fontagné & Lorenzi, 2005). Ces conclusions sont néanmoins souvent limitées à des hypothèses significatives, notamment sur l'existence d'une compétition parfaite, c'est-à-dire à l'absence d'imperfection de marché ou d'action politique modifiant la concurrence. A l'inverse, on constate actuellement une tendance à la fermeture des marchés aux entreprises des pays développés dans les pays du BRIC<sup>4</sup>. Ces pays imposent

<sup>4</sup> BRIC = Brésil, Russie, Inde et Chine

des conditions de plus en plus contraignantes aux entreprises, telles que le transfert des technologies ou la localisation sur place de la production (Institut de l'entreprise, 2012).

- **Une dynamique d'investissements globalement faible**, liée à une baisse des marges de profit dans l'industrie. Après une période de diminution des investissements corporels de l'industrie manufacturière entre 2000 et 2004, un bref regain est apparu vers 2005. Une chute brutale de ces investissements a ensuite été constatée en 2009, avec la crise économique. L'investissement a surtout diminué dans l'industrie automobile française (Conférence Nationale de l'Industrie, 2010).
- **Un manque de capacité d'industrialisation de la recherche et de transformation des idées en produits ou services, puis en succès commerciaux**. Les relations entre l'industrie et le monde de la recherche académique sont encore peu structurées, au contraire de la situation aux Etats-Unis (Conférence Nationale de l'Industrie, 2010; Fontagné & Lorenzi, 2005). « *Le retard dans la collaboration Industrie-Université affecte les performances de la recherche, mesurées en nombre de brevets déposés* » (Institut de l'entreprise, 2012, p.55).
- **Un tissu industriel dans lequel les petites et moyennes entreprises ne sont pas assez tournées vers l'exportation**. Le faible nombre d'entreprises de taille intermédiaire limite la présence d'acteurs industriels flexibles sur les marchés internationaux. Les exportations françaises restent liées aux grandes entreprises nationales qui sont de moins en moins dépendante d'une production sur le territoire national (Conférence Nationale de l'Industrie, 2010). De la même manière, les clusters industriels français sont moins nombreux et plus petits que dans les autres pays européens (Institut de l'entreprise, 2012). L'organisation du tissu industriel français n'est pas optimale pour faire face à la concurrence sur les marchés internationaux.
- **L'augmentation des coûts unitaires du travail**. Une part importante de l'industrie française est soumise à une forte concurrence sur les prix. Une augmentation du coût unitaire du travail, c'est-à-dire du ratio des salaires par la productivité du travail, implique un risque important de perte de compétitivité (Institut de l'entreprise, 2012). Cependant, l'impact des coûts du travail reste largement débattu en France.

La figure 11 décrit l'évolution des coûts unitaires du travail dans l'industrie manufacturière de plusieurs pays de l'OCDE. Les différences entre pays ne sont pas décrites. En parallèle, la figure 12 montre l'évolution de la productivité du travail dans l'industrie manufacturière. On note une croissance continue mais irrégulière de la productivité dans l'industrie française depuis 1985, avec une moyenne de 3 % par an. Cette croissance de la productivité compense plus ou moins l'augmentation des salaires entre 1995 et 2008, d'où une relative stabilité des coûts unitaires français. Pour l'Allemagne, après une phase de stagnation de la productivité au moment de la réunification, les gains de productivité ont été similaires à ceux de l'industrie française. Ainsi, la baisse des coûts unitaires en Allemagne, entre 2002 et 2007, est principalement la conséquence d'un effort de modération salariale (Institut de l'entreprise, 2012). Cependant, cet effort fait suite à une augmentation importante du salaire entre 1985 et 1994. L'écart des coûts du travail entre la France et l'Allemagne dans l'industrie manufacturière n'est donc pas évident, des analyses plus précises sont nécessaires.

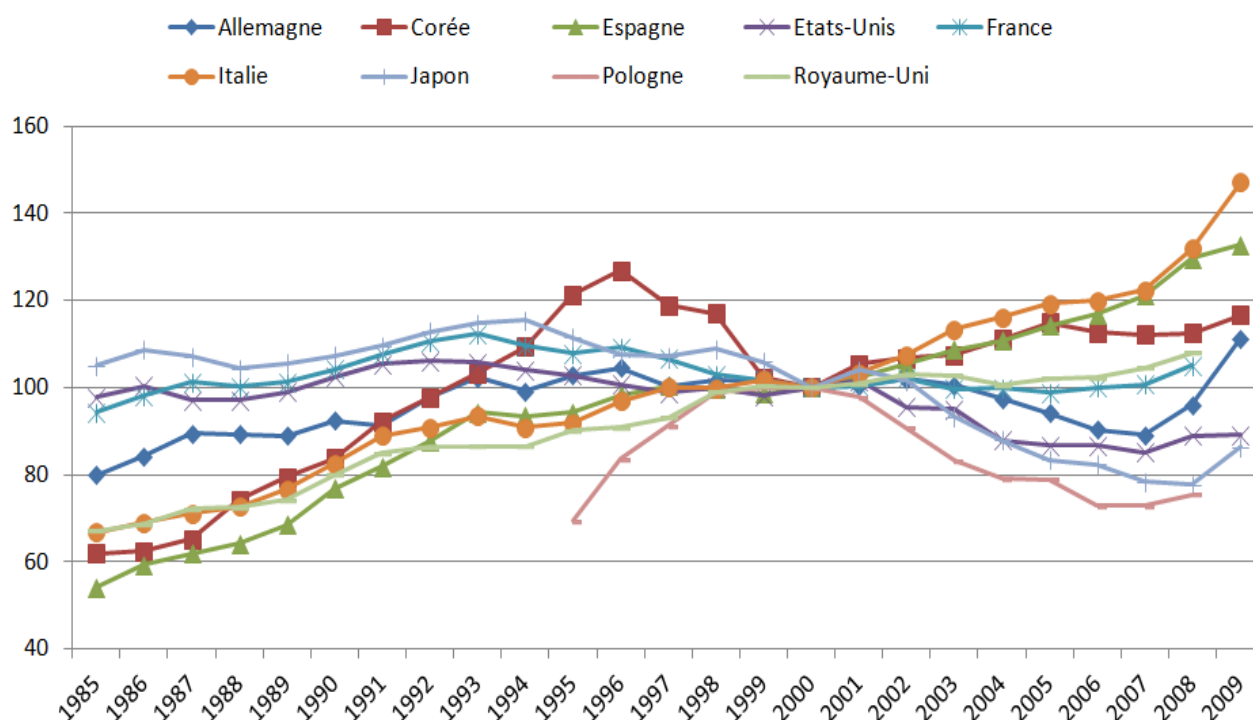


Figure 11 : Indice des coûts unitaires du travail dans l'industrie manufacturière.  
Indice 100 : 2000. Sources : (OECD, 2011)

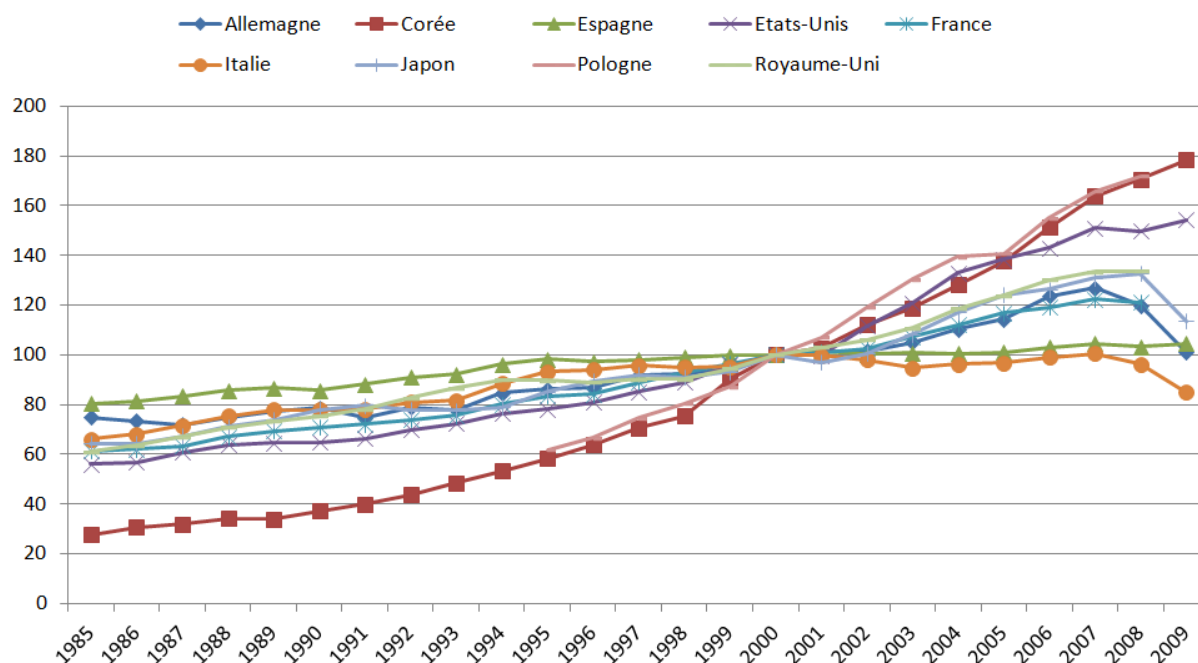


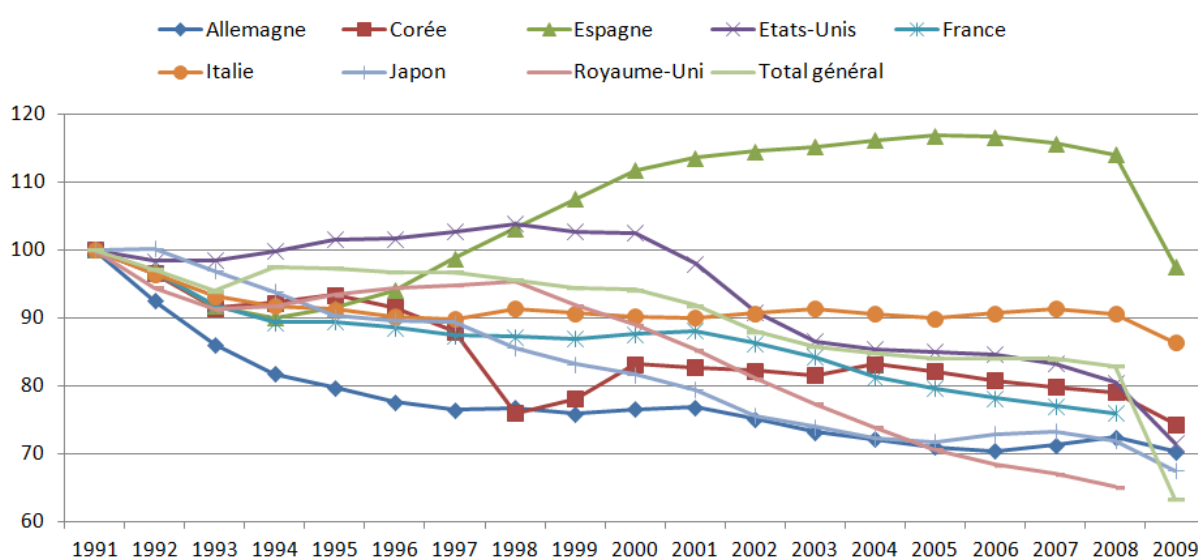
Figure 12 : Indice de la productivité du travail dans l'industrie manufacturière.  
Indice 100 : 2000. Sources : (OECD, 2011)

### 1.1.1.2) CONSEQUENCES SOCIALES DE LA DESINDUSTRIALISATION

La baisse de l'activité industrielle en France entraîne une diminution du nombre d'emplois dans l'industrie. Des destructions d'emplois industriels ont lieu dans la plupart des pays développés depuis plus de dix ans (Figure 13). Seule l'Espagne a connu une progression importante de l'emploi industriel dans les années 1990. Cette baisse de l'emploi, ainsi que les cas majeurs de fermeture ou de délocalisation des sites de production, mettent en évidence les conséquences sociales d'une possible désindustrialisation.

Dernièrement, trois cas de fermeture industrielle ont marqué les esprits en France. D'abord, à Florange en Lorraine, l'entreprise sidérurgique ArcelorMittal a mis à l'arrêt les haut-fourneaux de l'usine d'aciers plats, sans date de reprise de l'activité. La fermeture de l'usine semble certaine, sauf cas de reconversion potentielle vers un projet industriel de captage du CO<sub>2</sub>. Quand l'usine tournait à plein régime, 5 000 personnes travaillaient sur le site (Dubois & Le Blanc, 2012). L'annonce de la mise à l'arrêt des hauts-fourneaux a entraîné d'importants mouvements de contestation des syndicats, d'autant que la direction n'est pas prête à céder le site à de possibles repreneurs (Ambrosi, 2012).

L'entreprise automobile PSA a également décidé de la fermeture du site d'Aulnay-Sous-Bois au mois de juillet 2012. Cette fermeture semble résonner avec celle de Florange, car la construction automobile est un des principaux secteurs consommateurs d'aciers plats. Le groupe Peugeot-Citroën a ainsi annoncé l'arrêt de la production dans un site employant 3000 salariés, mais également une suppression globale de 8000 postes en France. La direction justifie cette décision par la dépression du marché automobile européen, dans lequel le volume des ventes a chuté d'environ 25 % depuis 2007 (Les Echos, 2012). Cette fermeture est d'autant plus préoccupante qu'elle implique aussi des risques importants de fermetures chez les sous-traitants de l'entreprise.



**Figure 13 : Indice d'évolution de l'emploi dans l'industrie manufacturière depuis 1991.**  
Indice 100 : 1991. Sources : (OECD, 2011)



Les activités de production ne sont pas les seules touchées par cette vague de fermetures dans l'industrie. Les activités de R&D industrielle sont également affectées par des plans de restructuration. Notamment, en juillet 2012, le groupe pharmaceutique Sanofi a annoncé la réorganisation de ses activités de recherche de médicaments et de production de vaccins en France. Cette restructuration pourrait supprimer entre 1000 et 2000 emplois de recherche en France. Le but étant, pour la direction, de « *créer une nouvelle dynamique de recherche et d'améliorer la compétitivité* » (Mennella, 2012). Ces trois situations constituent donc des cas emblématiques d'une possible désindustrialisation en France et soulèvent de vives inquiétudes sur l'avenir économique et social de l'industrie.

L. Demmou (2010) distingue trois principales causes de la baisse des emplois dans l'industrie. D'abord l'externalisation des entreprises industrielles vers le secteur des services serait responsable de 20 % à 25 % de la baisse du nombre d'emplois industriels en France, entre 1980 et 2007. Cependant, l'effet de cette externalisation a fortement diminué depuis l'an 2000. Ce phénomène représente 1 % à 5 % des destructions d'emplois depuis cette date. Au contraire, les gains de productivité provoquent un nombre croissant de destructions d'emplois industriels. Ces gains de productivité diminuent la main d'œuvre nécessaire pour des niveaux équivalents de production, mais la baisse des prix engendrée n'est pas assez importante pour qu'une hausse de la demande compense ces pertes d'emplois. En France, ces gains de productivité seraient à l'origine de 30 % des pertes d'emplois industriels entre 1980 et 2007, et de 65 % depuis l'an 2000 (Demmou, 2010). Enfin, l'effet de la concurrence étrangère, des délocalisations de la production industrielle, est plus difficile à estimer. Les économistes sont cependant unanimes pour constater une accélération de ce processus ces dernières années. Ces différents travaux évaluent entre 10 % à 45 % les effets des délocalisations sur les pertes d'emplois entre 1970 et 2007. Mais ce taux serait compris entre 28 % et 63 % pour la dernière décennie (Demmou, 2010; Fontagné & Lorenzi, 2005).

L'impact social des fermetures industrielles paraît d'autant plus grave que les fermetures et les baisses d'activités se situent principalement dans des bassins d'emplois déjà sinistrés. L'organisation territoriale de l'industrie française implique que certaines régions, déjà touchées par un chômage important, supportent une proportion supérieure des pertes d'emplois liées la crise. Notamment, les régions du Nord et du Nord-Est de la France ont subi des pertes d'emplois supérieures à -5 % depuis le début de la crise en 2008, pour une moyenne nationale de -3.6 % (Lacroix, 2010). Il y a donc une concentration géographique des conséquences sociales de la désindustrialisation. Or, il est souvent difficile de retrouver un emploi car la main d'œuvre est peu mobile. De plus, les suppressions d'emplois dans l'industrie concernent surtout les salariés non qualifiés, au profit d'une recomposition de l'emploi industriel vers les emplois qualifiés (ouvriers qualifiés, techniciens, ingénieurs), (Le Blanc, 2009). Ainsi, L. Fontagné et de JH. Lorenzi (2005, p.15) font l'analyse suivante : « *Les impacts négatifs locaux [de la désindustrialisation] sont donc puissants : ils affectent de surcroît les catégories les plus défavorisées et les moins mobiles (les non qualifiés). A l'opposé les impacts positifs, même s'ils sont plus élevés que les précédents, sont aussi plus diffus et moins concentrés sur le territoire national (gains de pouvoir d'achat pour l'ensemble des consommateurs), et touchent les plus mobiles (création d'emplois qualifiés...). Il y a là tous les ingrédients d'un cocktail politique explosif* ».



### 1.1.1.3) DISCUSSION AUTOUR D'UNE STRATEGIE INDUSTRIELLE EUROPEENNE

---

Les inquiétudes sur l'avenir de l'industrie française remettent à jour le débat sur le besoin d'une politique industrielle en France et en Europe ainsi que sur ses possibles formes. Depuis la fin des années 1980, la politique industrielle est absente des politiques publiques. Alors que l'idée d'une telle politique est abandonnée tant dans les faits que dans les intentions depuis plusieurs décennies, la situation actuelle semble appeler à un nouveau rôle de l'état dans l'industrie. Des économistes et des analystes de l'industrie encouragent alors le retour d'un état stratège, non pas d'un état planificateur (Cohen & Lorenzi, 2000; Thibault, 2008).

Au niveau de l'Union européenne, la stratégie industrielle paraît inaboutie. Suite à l'instauration du marché et de la monnaie uniques, les autorités européennes semblent s'être concentrées uniquement sur la politique de concurrence, sans élaborer de véritable stratégie industrielle pour l'Europe. La politique industrielle publique peut être abordée sous la forme d'un « triangle » que composent la politique de concurrence, déterminant les règles du jeu concurrentiel sur les marchés, la politique commerciale, basée sur la défense des intérêts nationaux sur les marchés extérieurs et la politique technologique consistant à favoriser la création d'externalités positives pour l'ensemble de l'industrie, notamment par l'innovation (Cohen & Lorenzi, 2000).

Jusqu'à présent, la politique commerciale s'est heurtée au problème d'identification des intérêts communs à l'industrie européenne, rendant passive l'Union européenne dans les négociations commerciales internationales. « *L'Europe subit ainsi l'activisme américain en pratiquant une politique défensive et en se pliant aux pressions Outre-Atlantique* » (Cohen & Lorenzi, 2000, p.138). Ce constat est d'autant plus marqué face aux politiques commerciales agressives sur les marchés internationaux des nouveaux pays émergents (Thibault, 2008). En effet, les différentes spécialisations industrielles des pays européens (Figure 2), impliquent une hétérogénéité des conséquences de toute politique sectorielle en Europe. Des lors, la légitimité des actions européennes est constamment remise en cause par les états membres (Le Blanc, 2007). Quant à la politique technologique, l'émergence d'un système d'innovation européen est retardée à la fois par les divergences nationales en matières d'institutions de recherche et par un manque de coordination entre pays membres : « *une sorte de cannibalisation se produit entre politique nationale et européenne de la R&D* » (Cohen & Lorenzi, 2000, p.138). Les actions européennes d'aides à l'innovation et de répartition des fonds structurels souffrent d'un manque de cohérence. Cela aboutit le plus souvent à un effet de saupoudrage des aides financières et politiques (Cohen & Lorenzi, 2000).

La stratégie industrielle européenne semble inadaptée à faire face au risque actuel de désindustrialisation dans une grande partie des pays européens. L'échelle nationale, quant à elle, semble de moins en moins appropriée pour une industrie manufacturière fragmentée et intégrée au niveau européen. Les politiques nationales, déterminées en isolation, induisent le plus souvent un bénéfice national aux dépens des autres pays européens et non des zones hors-UE. De nombreuses pistes d'action sont mises en avant par les analystes du secteur industriel afin de redynamiser la compétitivité des industries manufacturières françaises et européennes. Les principales propositions pour la définition d'une nouvelle stratégie industrielle européenne s'adressent aux trois volets de la politique industrielle : concurrentielle, commerciale, technologique. Ces propositions reposent souvent sur une meilleure organisation et sur une plus grande cohérence des institutions européennes, nationales et régionales. Un marché et une monnaie uniques pour les marchés nécessitent une stratégie

industrielle commune des gouvernements. Les travaux sur la compétitivité industrielle en France et en Europe suggèrent les points suivants :

- **Rechercher les objectifs communs de l'industrie européenne dans le but d'établir une politique commerciale légitime sur les marchés internationaux** (Le Blanc, 2007). Il faut notamment « *donner vie* » à un modèle commercial européen dans les instances internationales. L'intégration européenne étant une étape, il faut désormais s'accorder sur la stratégie d'une industrie européenne intégrée (Cohen & Lorenzi, 2000, p.140).
- **Rendre plus flexible la politique de concurrence de l'Union européenne** afin notamment de considérer les entreprises, non plus seulement sur le marché européen mais par rapport aux principaux concurrents mondiaux. Il existe un déséquilibre trop important en faveur de la politique de concurrence aux dépens des politiques commerciales et technologiques (Cohen & Lorenzi, 2000).
- **Encourager l'innovation, non seulement technologique mais aussi organisationnelle** (Institut de l'entreprise, 2012). C'est la question du « *paradoxe européen, c'est-à-dire cette situation où une recherche scientifique et technologique de qualité ne parvient pas à engendrer un processus d'innovation dynamique débouchant à son tour sur un renouvellement du tissu industriel* » (Cohen & Lorenzi, 2000, p.146).

### 1.1.2) UN DEBAT SUR LA QUESTION ENERGETIQUE

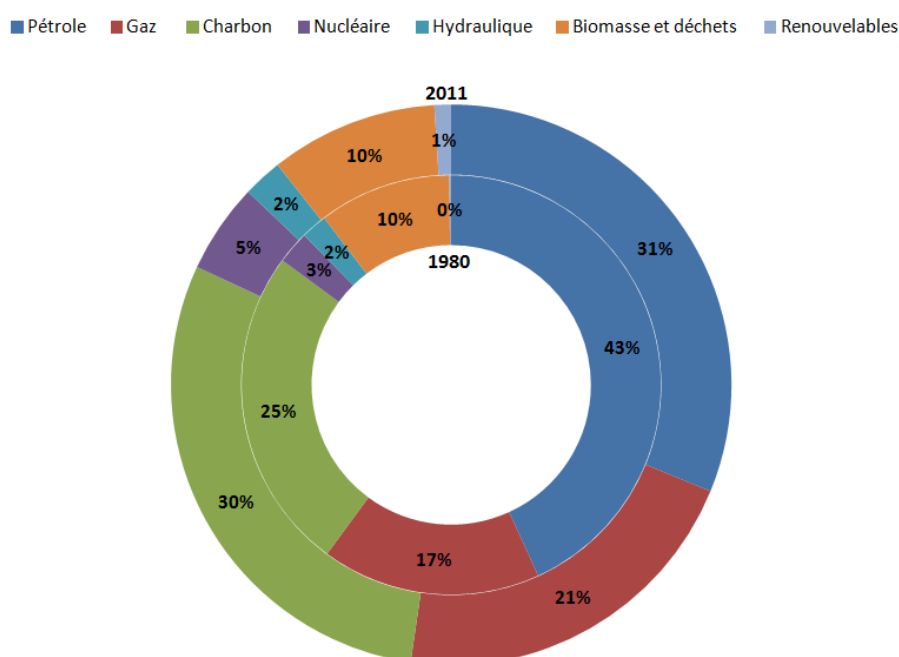
En parallèle à ce contexte économique difficile pour l'industrie française et européenne, la situation de l'énergie évolue rapidement dans les trois domaines qui composent la politique énergétique : l'économie, la sécurité de l'approvisionnement et l'environnement. La croissance extrêmement forte de la demande en énergie dans les pays émergents réoriente la géopolitique des marchés de l'énergie. Les pays de l'OCDE possèdent de moins en moins de moyens d'action ou de contrôle sur l'évolution de ces marchés. L'offre en énergie reste néanmoins suffisante pour satisfaire la demande, avec la découverte de nouvelles ressources énergétiques exploitables telles que les gaz non conventionnels. Toutefois, la sécurité d'approvisionnement reste une question d'actualité en Europe, menant à des réponses individuelles de la part de chaque pays européen. Ce sont surtout les enjeux climatiques qui semblent désormais les plus contraignants à court et à moyen termes pour la politique énergétique, même si les négociations internationales semblent encore dans une impasse. Cette section décrit donc le changement du contexte énergétique selon ces trois aspects.

#### 1.1.2.1) LES ENJEUX ECONOMIQUES

##### i. Une demande en énergie en forte croissance dans les pays émergents

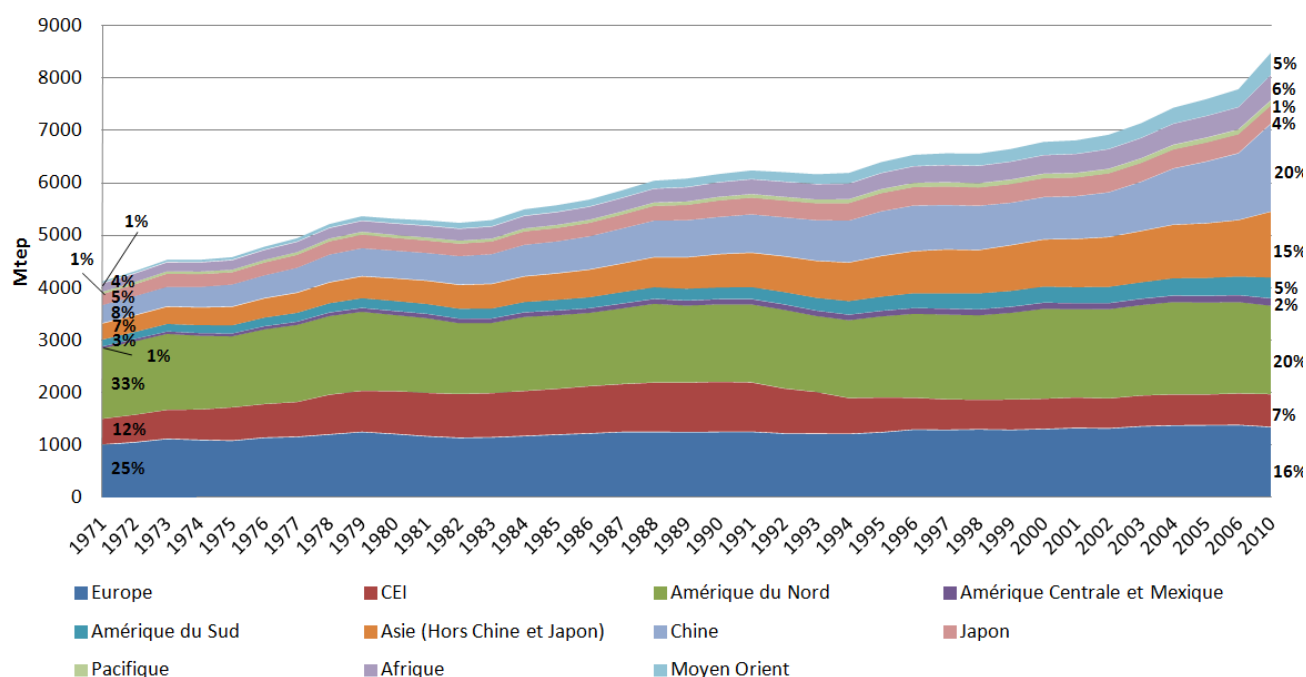
Entre 1980 et 2008, la demande énergétique mondiale a augmenté de 70 %, d'une consommation de 7 229 Mtep à 12 271 Mtep. Environ 60 % de cette augmentation provient d'une hausse de la consommation de charbon et de gaz. Le pétrole demeure la principale énergie consommée, mais la demande en pétrole progresse moins vite que pour les autres formes d'énergie (+31 %). Cette

diversification de la demande en énergie est une des conséquences des crises pétrolières. La demande en énergie nucléaire a progressé de 283 % entre 1980 et 2008, malgré le coup d'arrêt généré par l'accident de Tchernobyl sur l'investissement nucléaire. L'énergie hydraulique a également connu une forte hausse (+86 %). Enfin, les énergies renouvelables sont celles qui ont le plus progressé en valeur relative (+642 %). Cependant, les énergies renouvelables ne représentent encore qu'un montant très faible de la demande énergétique mondiale en 2008, soit 0.73 % (IEA, 2010a). La forte croissance de la demande est donc encore essentiellement satisfaite par le recours aux énergies fossiles (Percebois & Mandil, 2012). La figure 14 représente le changement dans la répartition par énergie de la production d'énergie primaire dans le monde, entre 1980 et 2011.

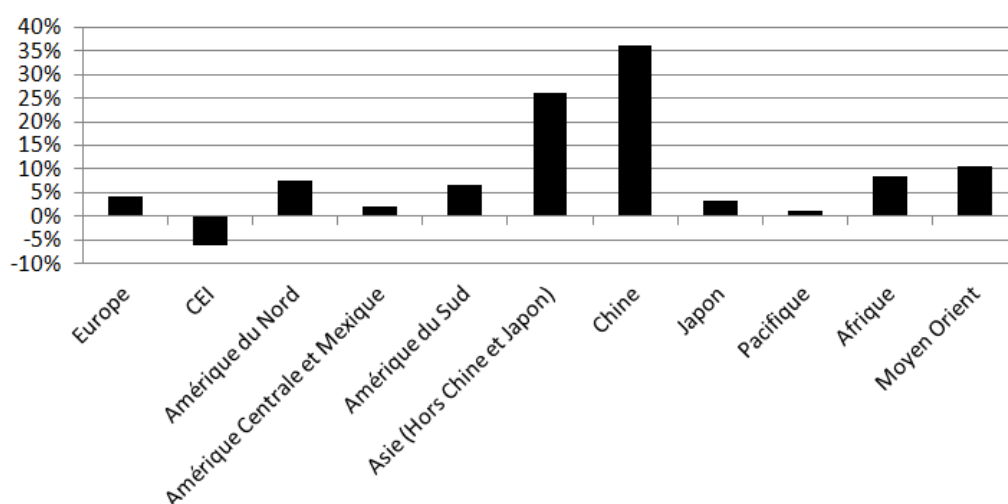


**Figure 14 : Composition de la production d'énergie primaire dans le monde, en 1980 et en 2011, par type d'énergie. Sources : Estimé à partir de (Enerdata, 2010)**

Néanmoins, la nouvelle répartition géographique est ce qui caractérise le plus l'évolution de la demande mondiale en énergie (Figure 15). En parallèle à la croissance économique mondiale qui repose désormais très largement sur celles des pays émergents, la croissance de la demande en énergie a surtout eu lieu dans ces pays. La consommation finale d'énergie a progressé de moins de 10 % dans les pays de l'OCDE et a même été négative dans les anciens pays soviétiques (Figure 15). A l'inverse, la consommation finale a progressé de plus de 36 % en Chine, de 26 % en Asie (hors Chine et Japon) et de 11 % au Moyen-Orient. La Chine est désormais le premier marché de l'énergie au monde, devant les Etats-Unis (Percebois & Mandil, 2012). Les pays développés (Europe, Amérique du Nord, Japon et CEI) constituent moins de la moitié de la consommation d'énergie finale (47 % en 2010). La principale conséquence de cette réorientation géographique des marchés est une perte d'influence des acteurs européens sur les marchés mondiaux de l'énergie (Percebois & Mandil, 2012).



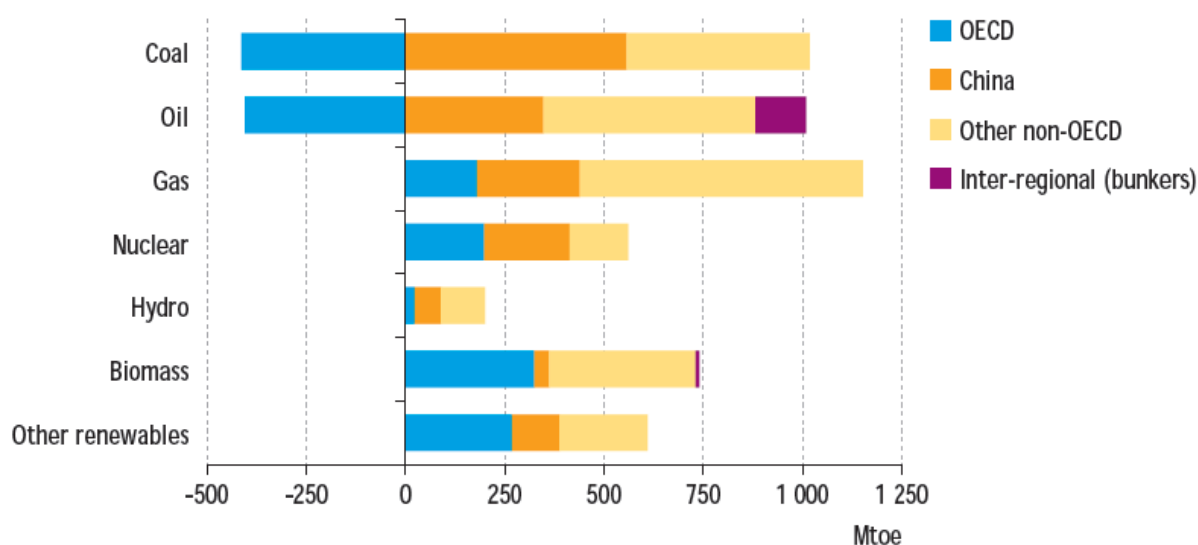
**Figure 15 : Evolution de la consommation finale d'énergie dans le monde entre 1971 et 2010.**  
Sources : Estimé à partir de (Enerdata, 2010)



**Figure 16 : Composition de l'augmentation de la consommation d'énergie finale par région dans le monde entre 1980 et 2010.** Sources : Estimé à partir de (Enerdata, 2010)

Les conséquences de cette croissance de la demande en énergie sont d'autant plus importantes que la tendance haussière actuelle a de très fortes chances de se poursuivre dans les prochaines décennies. Le rapport « World Energy Outlook 2010 » de l'IEA (2010a), estime dans son scénario « New Policies Scenario » que la consommation d'énergie primaire va encore augmenter de 36 % entre 2008 et 2035. La part de l'OCDE dans cette demande doit diminuer de 44 % à 33 % durant cette période.

Inversement, en 2035, la Chine et l'Inde représenteraient ensemble une consommation d'énergie primaire équivalente à celle de tous les pays de l'OCDE réunis, soit 31 % de la demande mondiale. La forte croissance de la consommation d'énergie dans les pays non-OCDE devrait être liée à l'augmentation de la population (+1 %/an en moyenne dans le monde) ainsi qu'à la croissance économique dans ces pays (+3.2 % par an en moyenne dans le monde, 4.6 % par an dans les pays non-OCDE), (IEA, 2010a). Les énergies fossiles devraient conserver un rôle central dans le mix énergétique mondial en 2035, avec néanmoins une part en léger déclin de 81 % en 2009 à 74 % en 2035. Cependant, la prévision de ce déclin repose sur des hypothèses de politiques volontaristes de la part des états, sur la limitation de la consommation d'énergie par habitant et sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre.



**Figure 17 : Changements estimés dans la consommation d'énergie primaire mondiale par énergie et par région entre 2008 et 2035. Sources : (IEA, 2010a)**

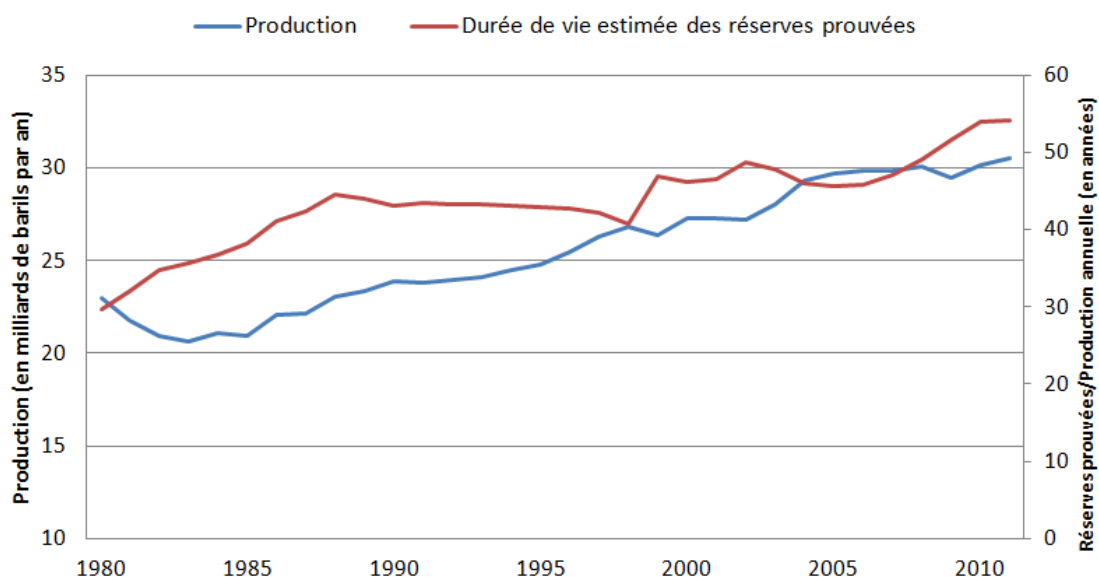
## ii. L'adaptation de l'offre énergétique à cette forte demande

Une forte hausse de la demande énergétique dans le monde peut mener à des déséquilibres majeurs dans la relation entre offre et demande si l'approvisionnement en énergie n'arrive pas à suivre une telle croissance. De telles tensions auraient alors un impact majeur sur les prix de l'énergie. Cette crainte semble cependant peu probable. En effet, les réserves prouvées d'énergie semblent encore abondantes et largement capables de satisfaire cette nouvelle demande jusqu'en 2035 (IEA, 2010a).

Les réserves en charbon sont estimées actuellement à environ 1 000 milliards de tonnes, ce qui en fait le combustible le plus abondant dans le monde. Cela représente 150 années de consommation actuelle. Pour le pétrole, les réserves prouvées s'élèvent à 1 350 milliards de barils en 2009, soit environ 46 ans de production (BP, 2012). On peut d'ailleurs constater que les réserves prouvées de pétrole ont régulièrement augmenté depuis 1983 malgré la hausse constante de la production (Figure 18). L'augmentation des prix du pétrole ainsi que les avancées technologiques permettent de découvrir de nouvelles réserves. Cependant, celles-ci ne sont pas forcément exploitables au même coût. Les dernières réserves ont souvent des coûts d'extraction plus élevés.

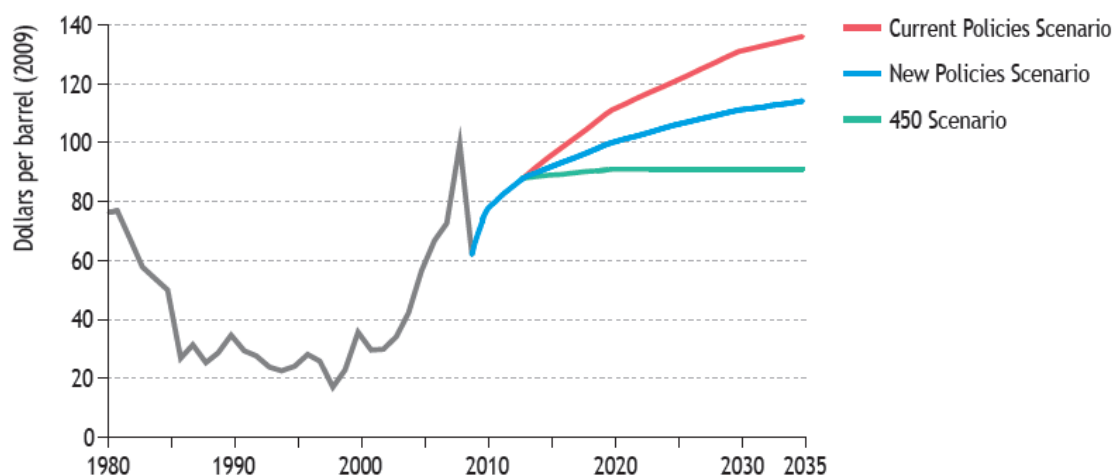
Pour le gaz, la découverte de moyens d'exploitation à bas coûts des réserves non conventionnelles a ouvert des perspectives importantes pour de nouveaux bassins de gaz répartis à travers le monde. L'impact de ces nouvelles extractions du gaz est déjà perceptible dans la production mondiale. Notamment, en 2011, les Etats-Unis ont connu la plus grande augmentation de production, en volume, de gaz, grâce en grande partie aux gaz non conventionnels. Ils conservent ainsi leur place de principal producteur mondial de gaz (BP, 2012). Pour l'instant, on estime que les réserves mondiales de gaz non conventionnels sont équivalentes à celles du gaz conventionnel (Percebois & Mandil, 2012). Pour le pétrole, une amélioration des techniques d'extraction pourrait également réduire les coûts de production du pétrole non conventionnel (IEA, 2010a).

Enfin, les ressources en uranium pour la production nucléaire sont abondantes. Il est estimé que les réserves connues suffiront à la production nucléaire pour au moins un siècle, avec le niveau de consommation actuel (IEA, 2010a). Pour les énergies renouvelables, le potentiel d'augmentation de la production est très large mais dépend encore fortement du rythme de diminution des coûts de production et des aides au développement de ces formes d'énergie.

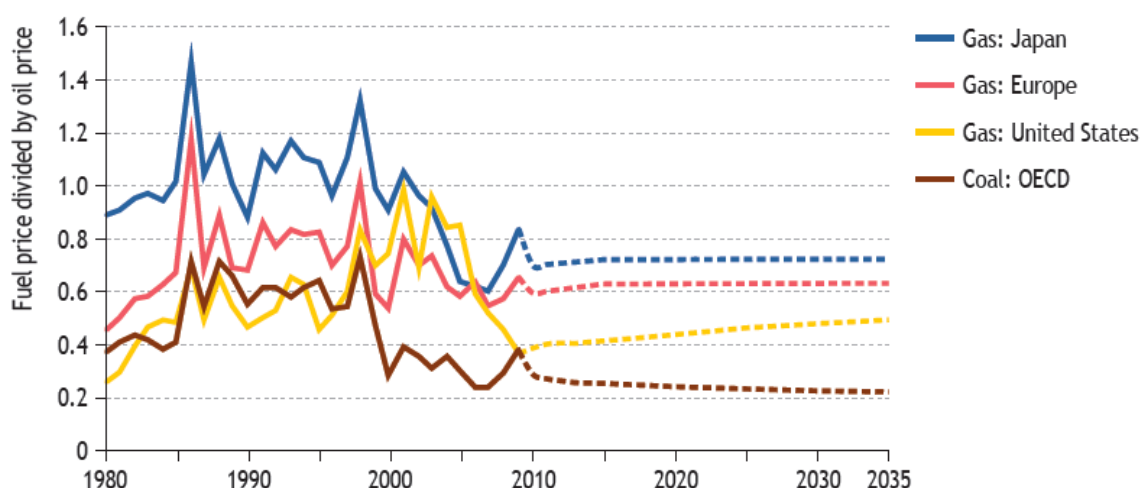


**Figure 18 : Lien entre la production de pétrole brut et les réserves mondiales prouvées de pétrole mesurée en durée de vie, c'est-à-dire par le ratio (Réserves Prouvées/Production annuelle). Sources : (BP, 2012)**

Pourtant, si les réserves d'énergie sont abondantes, leur exploitation n'est pas immédiate et requiert des investissements massifs, plus importants que ceux qui ont été nécessaires pour les réserves actuellement exploitées. Les coûts d'exploitation des nouvelles réserves sont généralement plus élevés que dans le passé, malgré les progrès technologiques. L'investissement nécessaire d'ici à 2035 pour répondre à la hausse de la demande en énergie, est estimé à environ 33 trillions de dollars dans le monde. Cela équivaut à environ 1.4 % du PIB mondial cumulé jusqu'en 2035 (IEA, 2010a). Ces besoins d'investissements seront non seulement nécessaires pour accroître les capacités de production mais aussi pour renouveler les moyens de production actuels. « *En d'autres termes, l'AIE considère que le principal problème n'est pas dans la disponibilité des ressources dans le sous-sol, mais la réalisation en temps utile des investissements nécessaires à la mise en valeur de ces gisements, tout en respectant les contraintes environnementales* » (Percebois & Mandil, 2012, p.28).



**Figure 19 : Prix moyen d'importation du pétrole brut dans les pays membres de l'AIE selon différents scénarios dépendant de la volonté politique mondiale de réduire les émissions.**  
Sources : (IEA, 2010a)



Note: Calculated on an energy-equivalent basis.

**Figure 20 : Ratio des prix moyens d'importations du gaz naturel et du charbon par rapport aux prix d'importation du pétrole brut dans les pays membres de l'AIE selon le scénario « New Policies Scenario ». Sources : (IEA, 2010a)**

La hausse des coûts de production de l'énergie ainsi qu'une possible tension sur les marchés si les investissements tardent à se mettre en place, par manque d'anticipation ou par stratégie de marché, peuvent mener à une hausse significative des prix de l'énergie dans le monde dans les prochaines décennies. L'AIE prévoit différents scénarios pour les prix du pétrole en 2035 (Figure 19) : très élevés si aucune action politique de réduction de l'intensité énergétique n'est réalisée (140\$ par baril), élevés si les états réalisent ce qu'ils ont annoncé lors de la conférence internationale de Copenhague en 2009 (120\$ par baril) et stables si une réelle politique volontariste est mise en place (90\$ par baril). Le prix des autres énergies suivraient alors une tendance temporelle proche de celle des prix du pétrole (Figure 20), sauf pour le gaz naturel du fait de l'arrivée des gaz non conventionnels. Il paraît difficile d'imaginer que la baisse des prix du gaz ait lieu uniquement aux Etats-Unis, malgré les prévisions de l'AIE en 2010. En effet, de nombreuses structures d'exportation, sous forme de GNL, des nouvelles



sources de gaz non conventionnel sont en cours de construction et viendront, dans un futur proche, réduire la hausse des prix du gaz dans le monde entier. Par exemple, l'Australie investit actuellement très fortement dans de nouvelles infrastructures d'exportation de gaz non conventionnel (IAEE, 2012).

Il existe donc de très fortes incertitudes sur l'évolution des prix de l'énergie, mais ils seront sûrement à la hausse dans les prochaines années. En plus des incertitudes inhérentes à la production énergétique, catastrophes naturelles ou techniques et conflits géopolitiques, la volatilité des prix de l'énergie sur le marché mondial risque de s'accroître (Percebois & Mandil, 2012).

### iii. Evolution historique des prix de l'énergie

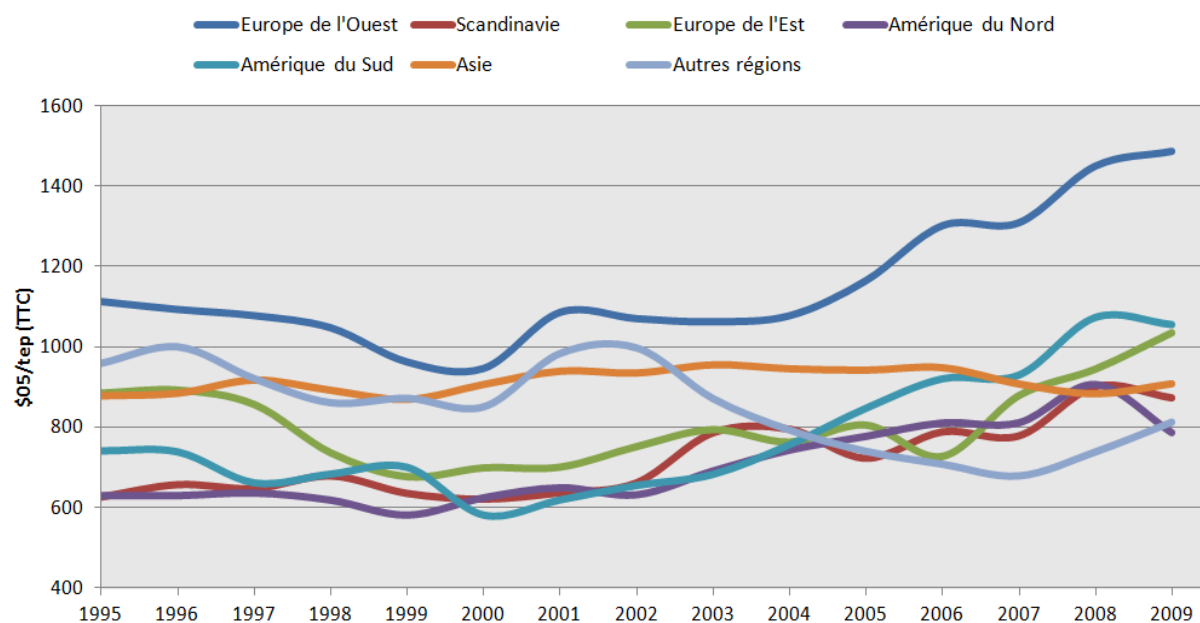
#### *Evolution temporelle des prix de l'énergie dans le monde entre 1995 et 2009*

Afin de mieux comprendre l'évolution récente des prix de l'énergie dans le monde, les graphiques ci-dessous décrivent les prix de l'énergie pour l'industrie, toutes taxes comprises, entre 1995 et 2009. Les prix de l'électricité, du charbon bitumineux, du gaz naturel et du fioul lourd sont présentés pour sept régions dans le monde : l'Europe de l'Ouest, la Scandinavie, l'Europe de l'Est, l'Amérique du Nord, l'Amérique du Sud, l'Asie et le reste du monde. Une moyenne simple est calculée entre les prix de chaque pays dans ces régions, aucune pondération n'est effectuée. Il faut donc prendre avec précaution ces évolutions, qui peuvent cacher des situations contrastées parmi les pays. Il n'est cependant pas possible d'obtenir les prix de l'énergie pour tous les pays. Ainsi, seule une sélection de pays est prise en compte pour chaque région géographique<sup>5</sup>. Enfin, tous les prix sont en valeur constante, c'est-à-dire en \$<sub>2005</sub>/tep. Il est important de noter que les taxes sont prises en compte. Ces prix dépendent donc de l'offre énergétique dans chaque région et du niveau des taxes (ou subventions).

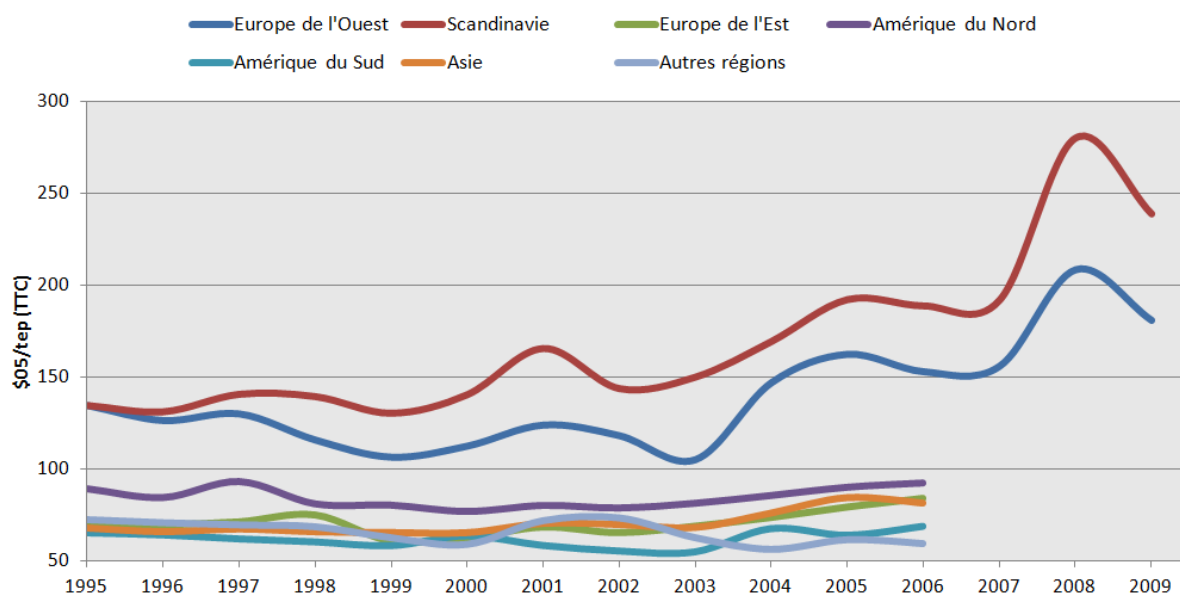
Pour les prix de l'électricité, on constate d'abord un écart important entre le prix moyen en Europe de l'Ouest et le prix dans les autres régions du monde (Figure 21). Cet écart devient de plus en plus important avec les années. Alors que le prix de l'électricité pour l'industrie a augmenté en moyenne de 20 % dans le monde, en valeur constante, entre 1995 et 2009, il a augmenté d'environ 33 % en Europe de l'Ouest. Si la hausse des prix est significative sur l'ensemble de la période, on peut toutefois constater une baisse des prix vers la fin des années 1990. Enfin, il ne semble pas y avoir de convergence des prix entre les grandes régions du monde.

<sup>5</sup> Europe de l'Ouest : Allemagne, Autriche, Espagne, France, Italie, Pays-Bas, Royaume-Uni, Belgique  
 Scandinavie : Danemark, Finlande, Norvège, Suède  
 Europe de l'Est : Pologne, Roumanie, Russie, Rép. Tchèque  
 Amérique du Nord : Canada, Etats-Unis, Mexique  
 Amérique du Sud : Argentine, Brésil, Chili, Colombie  
 Asie : Chine, Corée du Sud, Inde, Indonésie, Japon, Thaïlande  
 Autres Régions : Afrique du Sud, Turquie, Australie

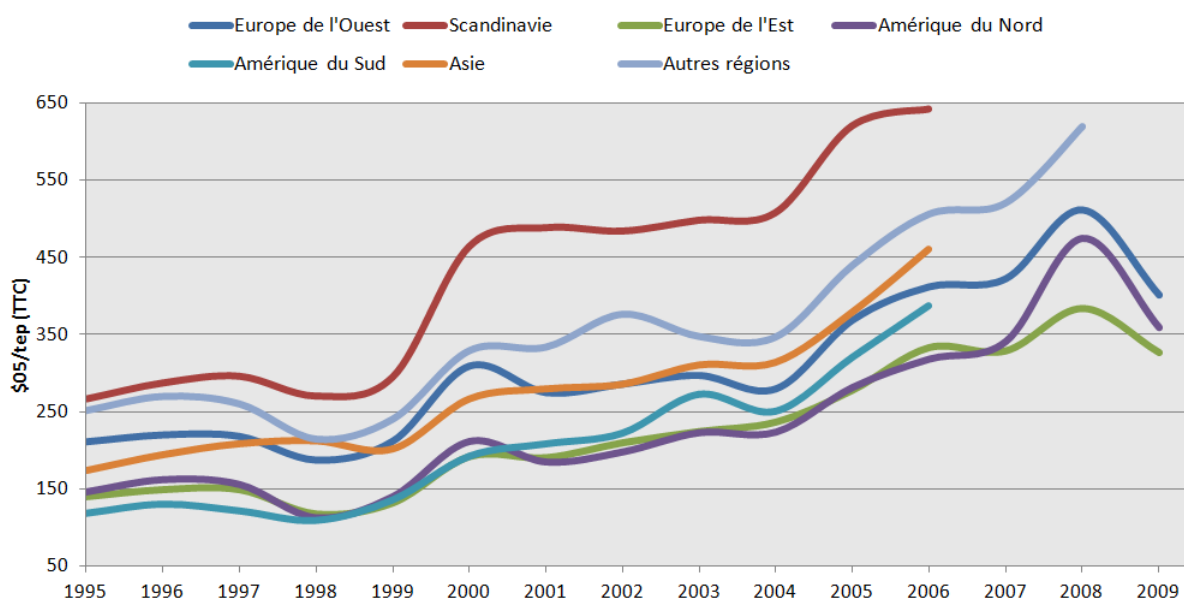
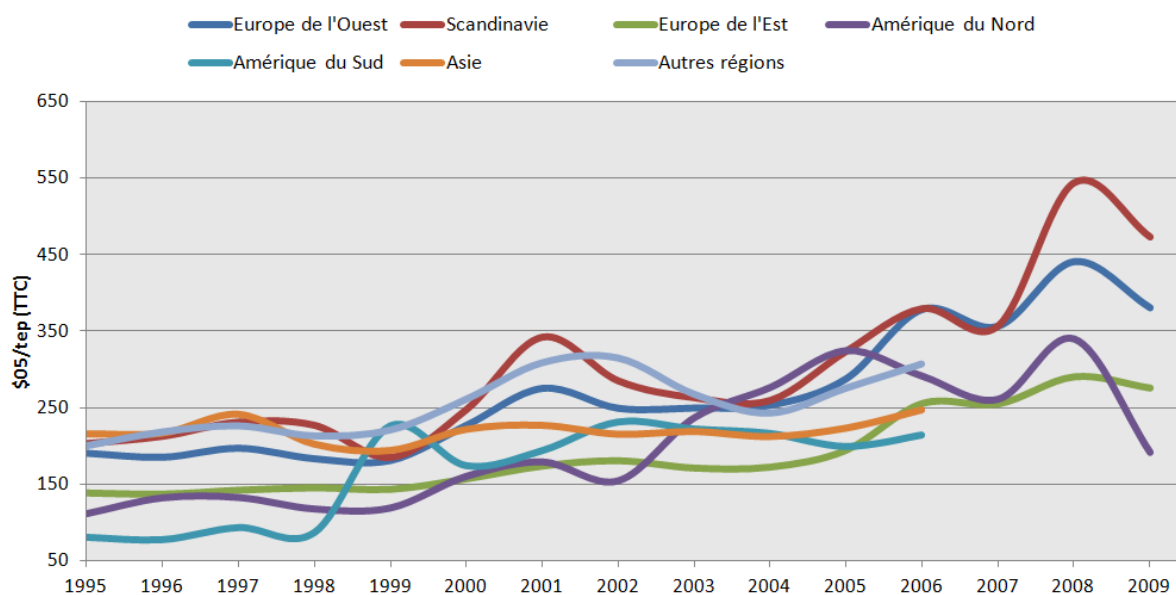




**Figure 21 : Moyenne des prix de l'électricité TTC pour l'industrie dans sept régions du monde entre 1995 et 2009, en valeur constante.**  
Sources : Estimé à partir de (Enerdata, 2010)



**Figure 22 : Moyenne des prix du charbon bitumineux TTC pour l'industrie dans sept régions du monde entre 1995 et 2009, en valeur constante.**  
Sources : Estimé à partir de (Enerdata, 2010)



Pour le charbon bitumineux, les prix sont bien plus élevés en Europe de l'Ouest et en Scandinavie que dans les autres régions du monde (Figure 22). Là encore, l'écart est croissant avec les années. Au niveau mondial, les prix du charbon ont augmenté en moyenne de 15 % entre 1995 et 2006, en valeur constante. La hausse a surtout eu lieu à partir de 2004, comme pour l'électricité. Auparavant, les prix étaient stables, voire en baisse avec un minimum en 1999. On constate alors une divergence des prix du charbon au niveau mondial.

Les prix du gaz naturel pour l'industrie ont très fortement augmenté, avec une hausse moyenne de 82 % dans le monde, en valeur constante, entre 1995 et 2006 (Figure 23). Cette hausse se poursuit d'ailleurs jusqu'en 2008, puis les prix chutent en 2009. Deux périodes de forte hausse des prix sont apparentes, en 2000-2001 et en 2004-2009. Les prix ont tendance à converger au niveau mondial entre 1995 et 2006. En 2005, les prix du gaz naturel en Amérique du Nord étaient équivalents à ceux en Europe. Ils ont ensuite fortement décroché des prix européens. En 2009, les prix du gaz en Amérique du Nord sont environ 59 % inférieurs à ceux d'Europe de l'Ouest.

Enfin, l'évolution du prix du fioul lourd pour l'industrie, en valeur constante, est très proche de celle des prix du pétrole brut (indice Brent). Cette évolution des prix est très corrélée dans les différentes régions du monde (Figure 24). On constate d'ailleurs une convergence accrue des prix dans le monde. L'augmentation des prix du fioul lourd pour l'industrie est de 134 % en moyenne dans le monde, entre 1995 et 2006. Les prix sont beaucoup plus élevés en Scandinavie, avec notamment une hausse importante des taxes sur le fioul lourd. Le ratio entre les prix TTC et HT (hors-tax), est passé de 1.3 en 1995, à 1.6 en 2006. Au contraire des prix du gaz naturel, il n'existe pas de décrochage des prix du fioul lourd en Amérique du Nord par rapport aux prix européens.

### *Hétérogénéité géographique des prix de l'énergie en 2006*

---

Dans l'analyse précédente, des moyennes géographiques des prix de l'énergie sur plusieurs pays sont utilisées. Si cela permet d'évaluer les tendances principales des prix dans chaque région, cela cache des hétérogénéités importantes parmi les pays d'une même zone. Afin de mieux décrire ces écarts entre pays, un diagramme en boîte des prix de l'énergie dans chaque continent est réalisé pour l'année 2006 (Figure 25). Les pays inclus dans chaque zone géographique sont les mêmes que ceux introduits auparavant<sup>2</sup>. Il est ainsi possible de visualiser si les prix sont homogènes<sup>6</sup> ou non dans chaque zone.

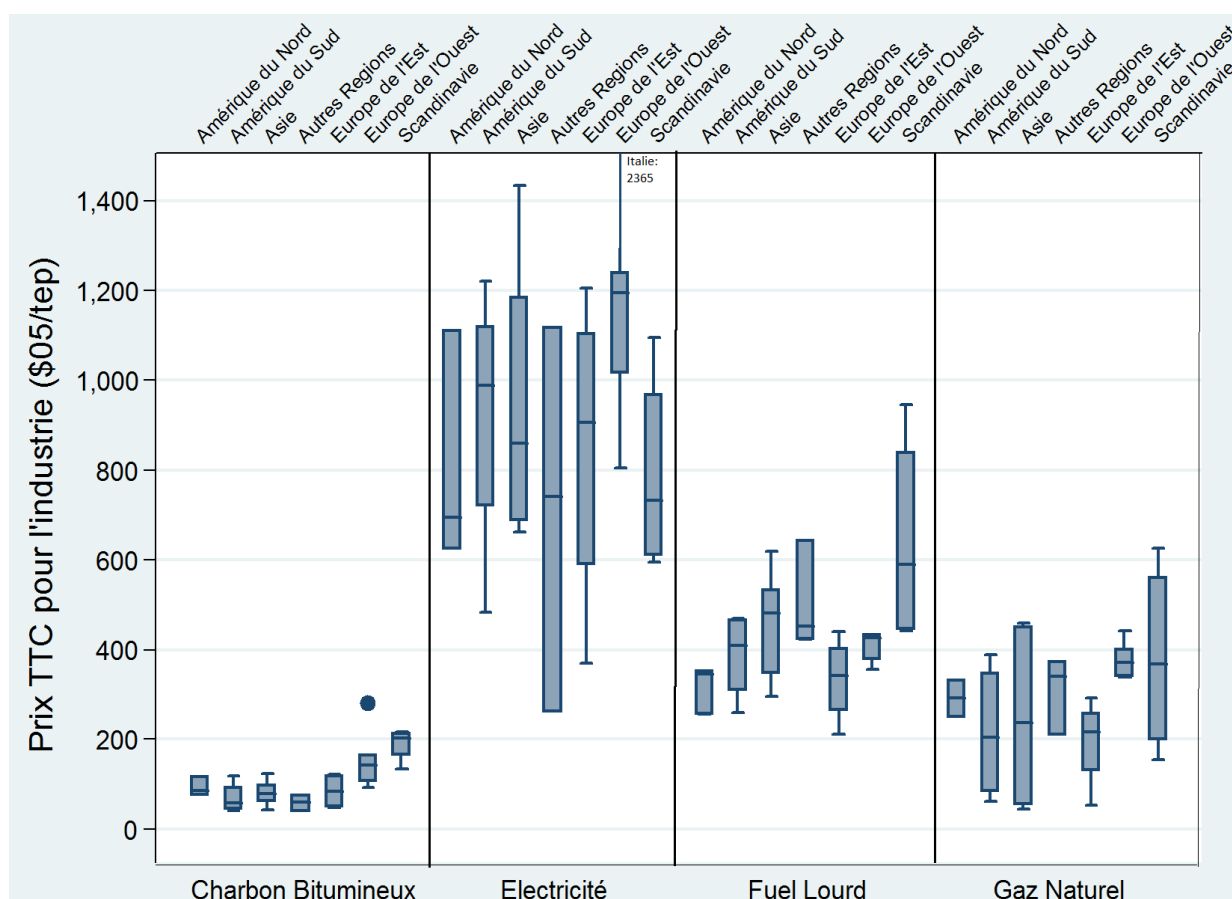
Il existe une forte hétérogénéité des prix de l'électricité à l'intérieur des zones géographiques. La production électrique étant encore fortement localisée au niveau national, même en Europe, les prix sont fixés selon la structure du marché domestique. Les écarts de prix de l'électricité peuvent être très importants entre pays frontaliers. Par exemple, en 2006, le prix moyen de l'électricité TTC pour l'industrie est de 804 \$<sub>05</sub>/tep en France alors qu'il est de 2365 \$<sub>05</sub>/tep en Italie (Enerdata, 2010). Les différences de prix de l'électricité ont donc probablement un impact important sur les écarts de compétitivité industrielle entre pays proches.

---

<sup>6</sup> La ligne verticale entre la limite adjacente la plus basse (trait horizontal le plus bas) et le bas de la boîte représente un quart des données, sauf en cas de valeur extrême (point). Un quart des données est ensuite réparti entre le bas de la boîte et la ligne médiane. La répartition est la même avec les lignes supérieures.

L'hétérogénéité est plus modérée mais toujours significative pour les prix du charbon bitumineux. Même si le graphique donne une vision écrasée des variations, la variation intra-régionale des prix du charbon est quasiment équivalente à celle de l'électricité. Cependant, les raisons de ces variations intra-régionales ne sont pas les mêmes. Les écarts de prix proviennent surtout de la présence ou non d'une production domestique de charbon bitumineux dans le pays. Par exemple, c'est en Amérique du Sud que la variation entre pays est la plus importante. En effet, le taux de couverture de la consommation de charbon par la production domestique est de 100 % en Colombie, de 18 % au Brésil et inférieur à 10 % en Argentine et au Chili (Enerdata, 2010).

Ensuite, l'hétérogénéité intra-régionale des prix est très forte pour le gaz naturel et relativement faible pour le fioul lourd. En Europe de l'Ouest, les prix sont très proches d'un pays à l'autre. En effet, la plupart des pays européens importent le gaz naturel ou le pétrole à partir des mêmes pays producteurs, à l'exception du Royaume-Uni. A l'inverse, en Scandinavie, les écarts de prix sont très importants pour le gaz et pour le fioul lourd. Cet écart est lié à la présence de pays avec une production importante de gaz et de pétrole, la Norvège et le Danemark, et de pays très dépendants des importations comme la Suède et la Finlande. On retrouve cette situation en Asie avec l'Indonésie et en Amérique du Sud avec la production domestique de gaz naturel en Colombie, en Argentine, et plus modérément au Brésil.



L'observation des prix de l'énergie, depuis 1995, indique une très forte hausse de ceux-ci dans la plupart des régions du monde. Cette hausse des prix concerne surtout le pétrole et le gaz naturel. La hausse des prix pour l'électricité et le charbon est plus modérée. Il apparaît surtout une très rapide augmentation des prix à partir de 2004 jusqu'en 2008. Les données après 2009 ne sont pas disponibles pour toutes les zones, mais on constate une rechute des prix avec la crise économique. Cependant, cette baisse ne semble que temporaire. En effet, les prix semblent être repartis à la hausse en 2010 et en 2011, en Europe, au Japon et en Corée du Sud. La situation actuelle est différente aux Etats-Unis, avec l'émergence de plus en plus importante des gaz conventionnels, qui implique une diminution des prix du gaz, de l'électricité et du charbon bitumineux (Enerdata, 2010). Des écarts très significatifs dans les prix de l'énergie persistent parmi les grandes régions du monde, mais aussi entre les pays d'une même zone géographique. La combinaison d'une hausse rapide des prix de l'énergie et des écarts de prix entre pays accentue le risque d'une perte de compétitivité industrielle liée aux facteurs énergétiques.

### 1.1.2.2) LA SECURITE DE L'APPROVISIONNEMENT EN ENERGIE

---

Après l'aspect économique, la sécurité énergétique constitue le second axe majeur d'une politique énergétique. Une rupture d'approvisionnement ou une crise énergétique peut avoir des conséquences majeures sur l'économie et l'industrie d'un pays, comme en témoignent les crises pétrolières des années 1970 et 1980 (World Energy Council, 2008). Les menaces sur la sécurité énergétique de l'Union européenne sont décrites dans les trois parties suivantes.

#### i. Une dépendance croissante aux importations d'énergies fossiles

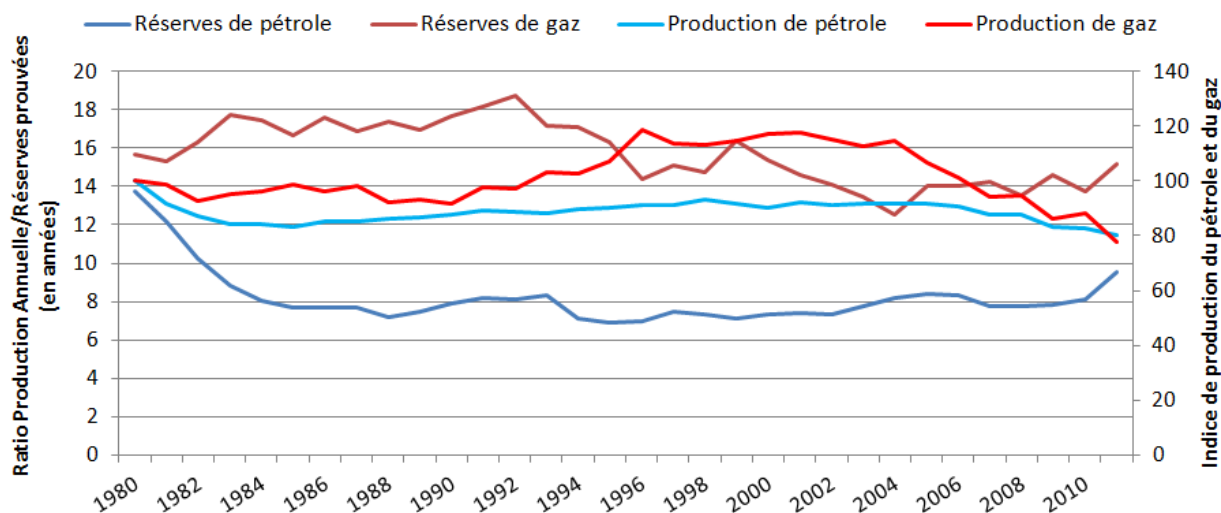
---

L'Union européenne a profité de la mise en exploitation de ressources en gaz et en pétrole dans la mer du Nord pour augmenter sa propre production<sup>7</sup> d'énergies fossiles dans les années 1970, notamment au Royaume-Uni et au Danemark. Cependant, si ces réserves ont rapidement été exploitées, elles sont désormais en déclin depuis 2004 (Figure 26). De plus, la consommation de ces produits fossiles a augmenté durant la même période, avec par exemple, le « Dash for Gas<sup>8</sup> » dans la production électrique du Royaume-Uni durant les années 1990. En conséquence, le taux de couverture de la production domestique d'énergies fossiles par rapport à la consommation est en baisse constante depuis 1980 pour le gaz et le charbon et depuis 2000 pour le pétrole (Figure 27). L'Union européenne dépend de plus en plus des importations hors-UE pour les énergies fossiles. Cette tendance est amenée à s'accroître dans les années à venir avec la diminution des réserves dans la mer du Nord, à moins que les ressources en gaz non conventionnels soient plus exploitées en Europe, notamment en Pologne où les réserves potentielles sont importantes.

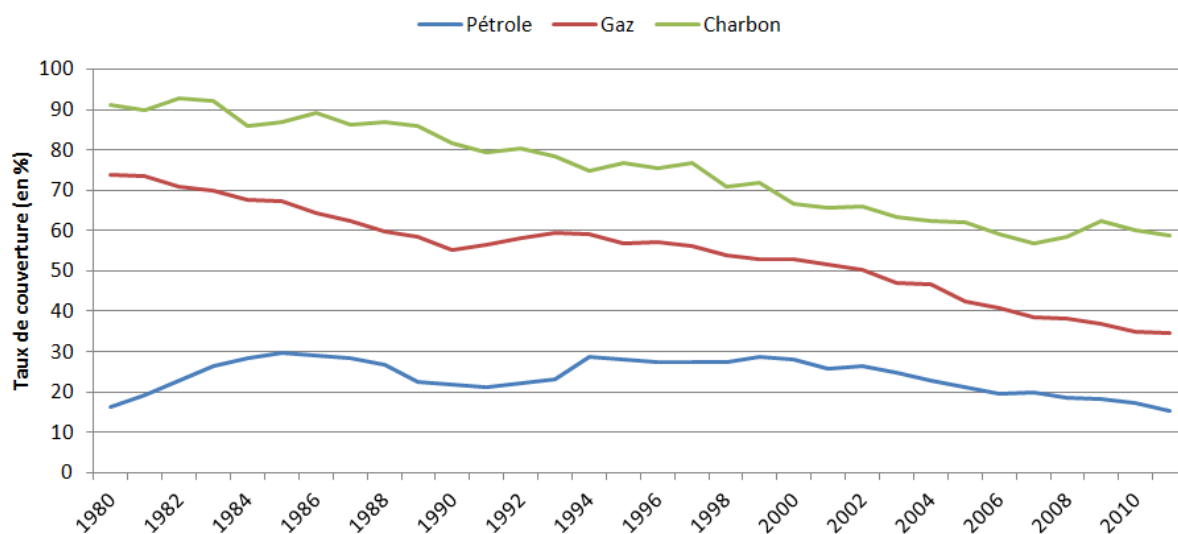
---

<sup>7</sup> Elle dispose également de ressources en charbon depuis longtemps.

<sup>8</sup> Avec la dérégulation du marché électrique au Royaume-Uni dans les années 1990, il y a eu une transition très significative de la production électrique du charbon vers le gaz naturel. En 1980, le charbon constituait 73 % de la production électrique, le gaz 1 %. En 2000, le charbon ne représentait plus que 32 % de la production électrique et le gaz 39 % (Enerdata, 2010).



**Figure 26 : Evolution de la production et des réserves de pétrole et de gaz dans l'Union européenne entre 1980 et 2011. Sources : Estimé à partir de (Enerdata, 2010)**



**Figure 27 : Evolution du taux de couverture de la consommation de pétrole, de gaz et de charbon par la production domestique dans l'Union européenne de 1980 à 2011. Le taux de couverture est le ratio entre la production et la consommation annuelles à l'intérieur de l'UE. Sources : Estimé à partir de (Enerdata, 2010)**

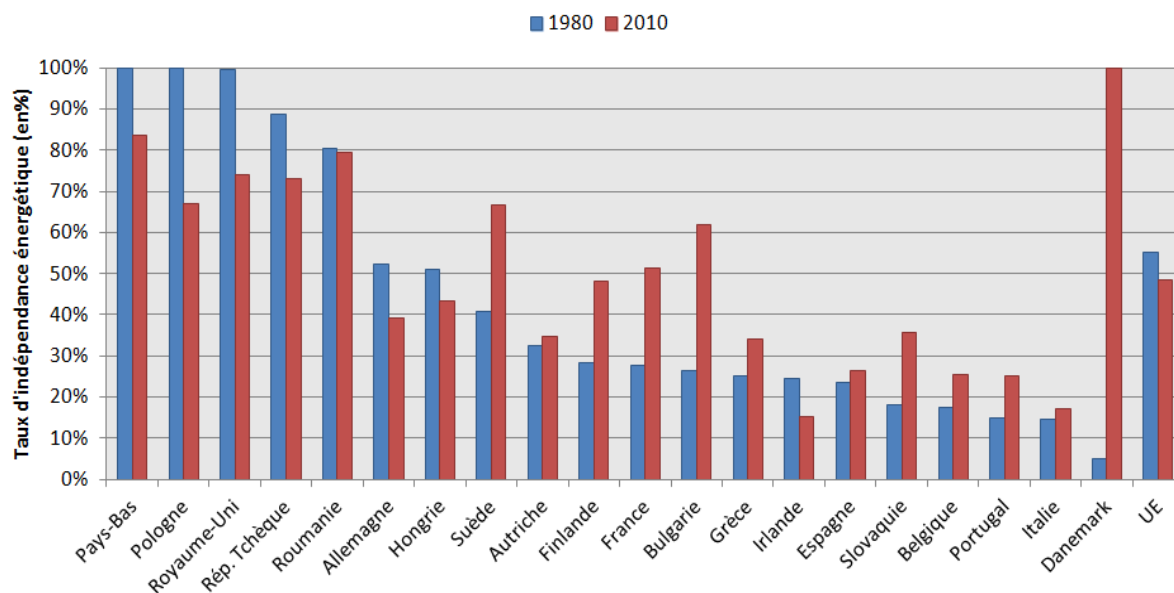
L'augmentation des importations d'énergies fossiles se traduit par une diminution du taux d'indépendance énergétique (brut) de l'Union européenne entre 1980 et 2010. Ce taux a diminué de 55 % en 1980 à 48 % en 2010 dans l'Union européenne, en intégrant cependant tous les nouveaux pays membres. La figure 28 illustre une situation très contrastée de l'indépendance énergétique parmi les pays européens. Cette divergence entre pays a tendance à diminuer depuis 1980.

Quatre groupes de pays peuvent être distingués. On peut d'abord isoler les pays situés au bord de la mer du Nord et produisant du gaz et du pétrole, tels que le Royaume-Uni, les Pays-Bas et le

Danemark<sup>9</sup>. Ces pays possédaient une indépendance énergétique totale dans les années 1980 et 1990. Ils pouvaient même exporter dans le reste de l'UE. Mais avec le déclin des réserves de la mer du Nord dans les années 2000, la dépendance énergétique de ces pays a commencé à décroître, sauf pour le Danemark. Le second groupe est composé de pays possédant d'importantes réserves de charbon. Ce groupe est composé de la plupart des pays d'Europe de l'Est et de l'Allemagne dans une moindre mesure. Au fur et à mesure que ces pays diversifient leur source d'approvisionnement en énergie, la part du charbon dans la consommation totale diminue. Or, le gaz et le pétrole consommés dans ces pays proviennent essentiellement des importations, ce qui implique une diminution du taux d'indépendance énergétique.

Le troisième groupe est composé de pays sans grande ressource en énergie fossile mais qui ont réorienté leur production électrique vers le nucléaire ou les énergies renouvelables après les crises pétrolières, d'où une augmentation de leur indépendance énergétique. Cela concerne la France, la Suède, la Belgique et la Finlande. Enfin, le dernier groupe est constitué de pays avec peu de ressources énergétiques et consommant encore beaucoup d'énergies fossiles importées. Ces pays possèdent un taux d'indépendance énergétique très faible comme l'Italie, l'Espagne, l'Irlande ou le Portugal.

En conclusion, l'indépendance énergétique européenne suit une tendance à la baisse avec le déclin des réserves de la mer du Nord, la baisse de la consommation du charbon d'Europe de l'Est et l'abandon du nucléaire dans certains pays (ex. Allemagne et Italie). Dans un contexte de tension croissante sur les marchés de l'énergie, l'Union européenne apparaît alors de plus en plus dépendante des importations internationales d'énergie, ce qui soulève des questions importantes sur sa future sécurité énergétique.



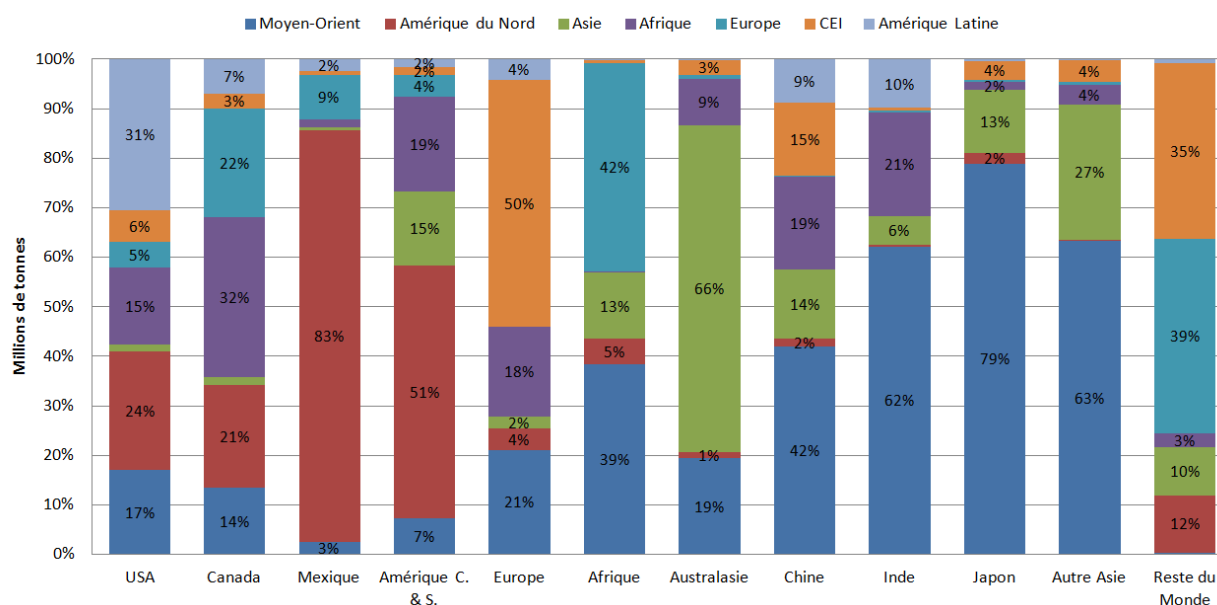
**Figure 28 : Taux d'indépendance énergétique dans les pays européens en 1980 et en 2010.**  
Sources : Estimé à partir de (Enerdata, 2010)

<sup>9</sup> L'exploitation des ressources énergétiques maritimes est plus tardive au Danemark.

## ii. Une forte dépendance de l'approvisionnement en énergies fossiles à des pays plus ou moins stables

Une part importante de la notion de sécurité énergétique dépend de la diversification des sources d'approvisionnement des importations énergétiques. Une diversification géographique importante permet de réduire la sensibilité économique à une crise ou à une catastrophe dans une région particulière du monde. Par exemple, on peut citer la crise vénézuélienne de 2003 entre la compagnie nationale et le gouvernement local, les troubles sociaux de 2003 au Nigéria, la guerre en Irak et plus récemment la menace de conflit dans le détroit d'Ormuz entre l'Iran et l'OTAN ou la guerre en Libye (Artus et al., 2010). La diversification de l'approvisionnement permet également d'éviter des problèmes de menaces géopolitiques comme cela a été le cas dans la crise du gaz en 2009 entre l'Ukraine et la Russie, qui a affecté l'approvisionnement de nombreux pays de l'Union européenne. La fourniture d'énergie devient alors une arme politique.

Les figures suivantes décrivent l'origine des importations de l'UE pour chaque type d'énergie. Dans le pétrole (Figure 29), la moitié des importations européennes<sup>10</sup> provient des anciens pays soviétiques, principalement de Russie. Ensuite, environ 20 % des importations proviennent à la fois d'Afrique (Libye et Nigéria) et du Moyen-Orient (Iran, Irak, Arabie Saoudite). On constate donc une forte dépendance de l'Union européenne à la Russie et à des pays géopolitiquement instables pour l'approvisionnement en pétrole. L'approvisionnement est beaucoup plus diversifié aux Etats-Unis et au Canada. A l'inverse, le Japon est extrêmement dépendant du Moyen-Orient.



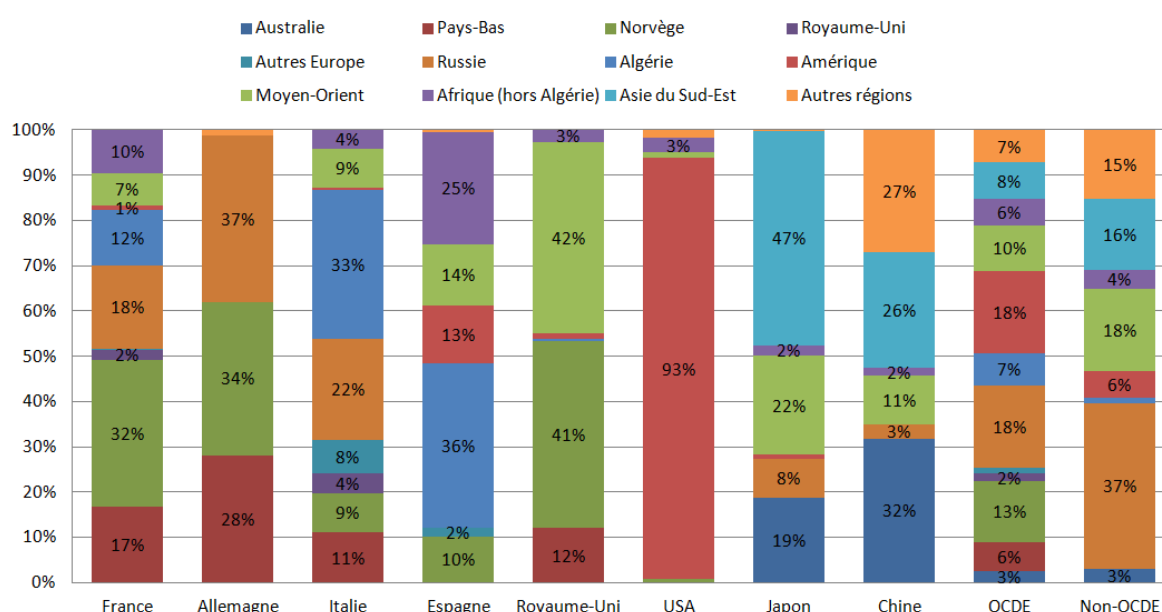
**Figure 29 : Origine du pétrole importé par région du monde en 2011.**  
Sources : Estimé à partir de (IEA, 2010b)

Pour les importations de gaz naturel (Figure 30), il est plus difficile d'obtenir des données par région et par pays car il faut faire correspondre les importations de GNL (gaz naturel liquéfié) et par gazoduc. Le marché gazier est historiquement beaucoup plus régional que le marché pétrolier. Des différences

<sup>10</sup> Dans le graphique, la Norvège est incluse à la zone Europe, alors qu'elle constitue environ 12 % des importations de l'UE.

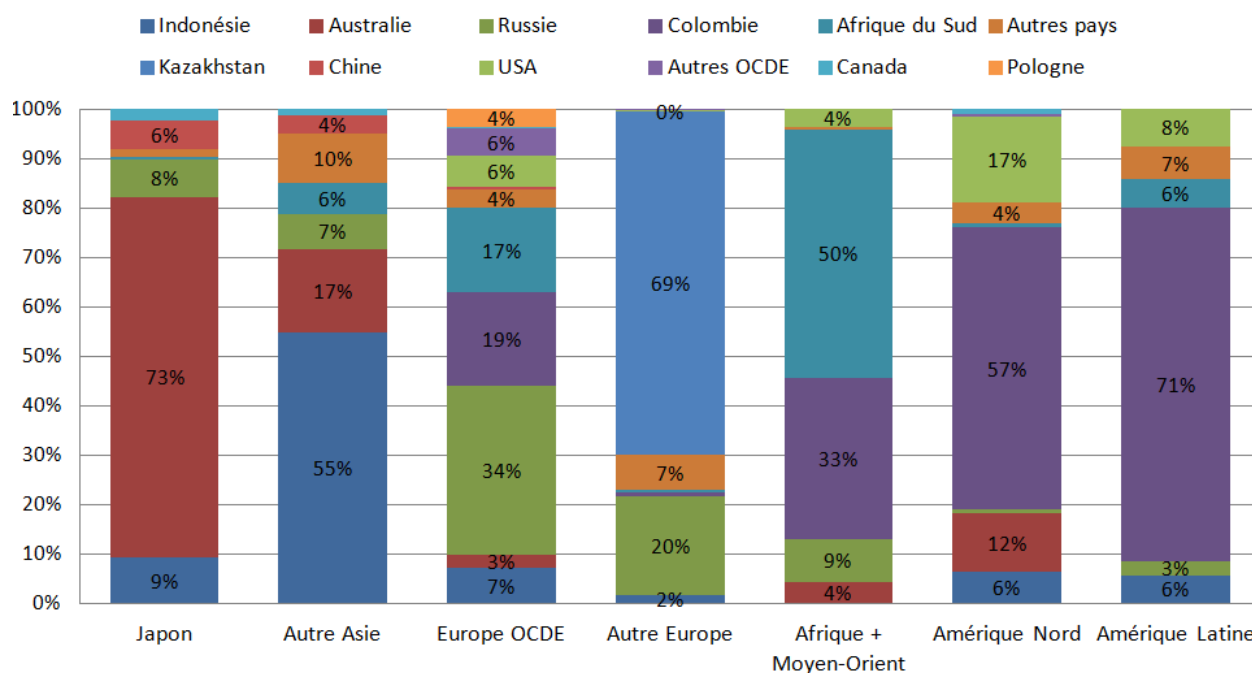


importantes de sources d'approvisionnement existent parmi les pays européens. La France et l'Italie possèdent des sources d'importations assez diversifiées. L'Espagne possède un approvisionnement diversifié mais fortement orienté vers l'Algérie et l'Afrique (hors Algérie). L'Espagne importe notamment beaucoup de GNL. L'Allemagne dépend par contre uniquement de trois pays pour son approvisionnement en gaz : la Russie, la Norvège et les Pays-Bas. La dépendance à la Russie a d'ailleurs augmenté depuis l'ouverture du gazoduc Nord Stream reliant directement la Russie à l'Allemagne par la mer Baltique. Enfin, le Royaume-Uni produit encore 58 % de sa consommation de gaz en 2011. Le reste est importé majoritairement de deux zones : la Norvège et le Moyen-Orient. A titre de comparaison, les Etats-Unis produisent 93 % de leur consommation et importent le reste du Canada. Le Japon ne produit quasiment pas de gaz et importe le gaz d'Asie du Sud-Est, du Moyen-Orient et d'Australie.



**Figure 30 : Origine du gaz naturel importé par région du monde en 2011 (gazoduc et GNL).**  
Sources : Estimé à partir de (IEA, 2011)

Enfin, l'approvisionnement européen en charbon vapeur est plus diversifié (Figure 31). Les sources d'approvisionnement en charbon vapeur sont la Russie, la Colombie, l'Afrique du Sud et l'Indonésie. De plus, une grande partie de la consommation de charbon vapeur provient de l'UE, soit 59 % en 2011. Pour le charbon métallurgique, utilisé dans la sidérurgie, les importations dépendent par contre de deux sources principales, l'Australie et l'Indonésie (IEA, 2010c). La demande en charbon vapeur aux Etats-Unis est satisfaite par la production domestique, alors que le Japon ne possède aucune production domestique.



**Figure 31 : Origine du charbon vapeur dans les principales régions importatrices en 2009.**  
Sources : Estimé à partir de (IEA, 2010c)

L'analyse des sources d'approvisionnement montre que l'Union européenne est dans une situation très délicate par rapport à ses importations de pétrole. Les secteurs dépendant des prix du pétrole (transport et chimie) sont donc sensibles à l'évolution du contexte géopolitique mondial et au risque d'émergence d'une crise régionale. Pour le gaz naturel, l'approvisionnement est plus sûr. Néanmoins, l'Allemagne est encore fortement dépendante de seulement trois pays pour son approvisionnement en gaz. Enfin, pour le charbon, la situation est globalement plus sécurisée, principalement par une production domestique importante. Pour l'uranium, les sources d'approvisionnements sont diversifiées et dans des pays plus stables politiquement. De plus, il est facile de stocker l'uranium sur plusieurs années. La question de sécurité énergétique est donc moins prégnante pour le nucléaire (Percebois & Mandil, 2012).

### iii. Les enjeux d'un marché électrique commun pour l'Europe

Un élément important de la politique énergétique européenne actuelle réside dans la création progressive d'un marché unique de l'énergie, pour l'électricité et le gaz. Le but de cette politique est de réduire les prix de l'énergie et leur volatilité, et de permettre le développement d'une énergie plus durable. Cette politique s'appuie sur la dérégulation des marchés électriques et gaziers nationaux, sur l'introduction de la concurrence et sur l'encouragement aux investissements dans les infrastructures de connexion entre pays (Percebois & Mandil, 2012). La mise en place d'un tel marché européen améliore théoriquement la sécurité d'approvisionnement, notamment par le partage du risque (World Energy Council, 2008). Cependant, cette politique est freinée par d'importantes contraintes sur le marché de l'électricité :

- Manque de connexions électriques importantes entre les pays européens (Percebois & Mandil, 2012). Un meilleur maillage européen doit permettre de diminuer le risque de rupture électrique dans un pays et permettre la mise en place d'un marché commun.
- Répartition des coûts communs de gestion du réseau entre pays. Notamment, la problématique des capacités de production d'électricité en réserve afin de garantir la production dans les périodes de pointe de la consommation et de stabiliser la fréquence sur le réseau (World Energy Council, 2008). Ce problème est d'autant plus important que la part de la production renouvelable intermittente est de plus en plus importante en Europe (Percebois & Mandil, 2012).
- Des divergences dans l'orientation de la politique énergétique sur les technologies de production de l'électricité : fermeture du nucléaire en Allemagne et en Italie, renouvellement des capacités en France et au Royaume-Uni (Percebois & Mandil, 2012).

En conclusion, la sécurité énergétique constitue un aspect important de la problématique énergétique en Europe avec l'augmentation progressive de la dépendance aux importations d'énergies fossiles hors-UE alors que des tensions apparaissent sur les marchés mondiaux. La situation est particulièrement inquiétante pour l'approvisionnement en pétrole, plus modérément pour le gaz et le charbon. Un autre point à résoudre réside dans la constitution d'une stratégie énergétique commune dans l'Union européenne, étape nécessaire pour la création de marchés communs de l'électricité et du gaz. Les principales orientations de la politique énergétique européenne actuelle concernent les problématiques suivantes (European Commission, 2008b) :

- Besoin en infrastructure et diversification des sources d'approvisionnement en énergie, notamment dans la mer Baltique, vers les pays de la mer Caspienne, avec des infrastructures de GNL et en favorisant la coopération dans l'espace méditerranéen.
- Meilleure coopération des pays européens dans les relations internationales en rapport avec l'énergie.
- Amélioration du stockage stratégique de pétrole et de gaz ainsi que des mécanismes de réponses aux crises énergétiques.
- Dynamisation de la politique d'efficacité énergétique.
- Optimisation de l'exploitation des réserves domestiques d'énergie.

### 1.1.2.3) L'ASPECT ENVIRONNEMENTAL

---

#### i. Le risque climatique

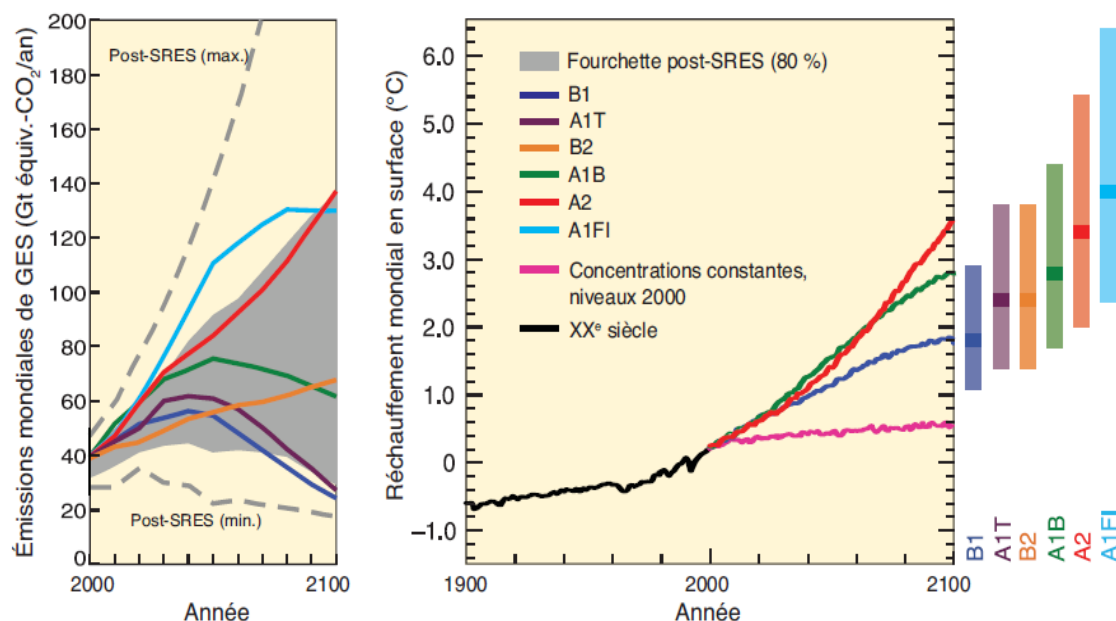
---

Le réchauffement du système climatique est désormais sans équivoque et provoque une hausse des températures moyennes de l'atmosphère et de l'océan sur le globe terrestre, une fonte massive des neiges et une élévation du niveau moyen de la mer. Ce réchauffement climatique provient très probablement des émissions de gaz à effet de serre provoquées par l'activité humaine depuis le début de l'ère industrielle. Celles-ci ont fortement augmenté, de +70 % entre 1970 et 2004. Il est également fortement probable que ces émissions annuelles continuent d'augmenter dans les prochaines décennies (Figure 32) et donc que le réchauffement climatique s'aggrave. Selon les projections du GIEC, ce

réchauffement pourrait atteindre 6°C en moyenne sur le globe en 2100 selon le pire scénario. Afin de limiter le réchauffement global à 2°C, la concentration atmosphérique en gaz à effet de serre ne doit pas dépasser 450 parties par million (ppm), (GIEC, 2008; Percebois & Mandil, 2012).

Les conséquences de ce réchauffement climatique sont majeures sur l'évolution future du climat et sur l'occurrence des catastrophes climatiques. Il existe déjà des preuves de l'action indirecte de l'homme, par l'intermédiaire des émissions de gaz à effet de serre, sur l'augmentation d'événements climatiques extrêmes comme les périodes de canicules (IPCC, 2012). Le changement de fréquence et d'intensité des phénomènes météorologiques extrêmes, conjugué à l'élévation du niveau de la mer, devrait avoir des effets néfastes sur les systèmes naturels et humains. Ces conséquences se produiront souvent dans le long-terme, même si les concentrations de gaz à effet de serre se stabilisent. A l'inverse, plus les émissions sont importantes et le réchauffement élevé, alors plus les risques de perturbations majeures sont sérieux à cause du couplage positif qui existe entre la concentration des gaz à effet de serre et la température moyenne à la surface du globe. On pourrait alors assister durant la seconde moitié du XXI<sup>e</sup> siècle, à de graves problèmes dans l'agriculture créant des famines massives, à des inondations majeures de zones habitées et à des déplacements très importants de population. D'un point de vue économique, le rapport Stern sur l'impact économique du changement climatique estime une perte potentielle de 5 % à 10 % du PIB mondial dans le long terme. Des coûts, assez incertains, qui démontrent néanmoins que le coût de réduction des émissions, pour éviter un réchauffement trop important, est bien moins important. Cependant, plus la réaction des gouvernements et des économies sera tardive plus les coûts de réduction des émissions seront élevés (Stern, 2006).

**Scénarios d'émissions de GES pour la période 2000–2100 (en l'absence de politiques climatiques additionnelles)  
et projections relatives aux températures en surface**



**Figure RiD.5.** À gauche : Émissions mondiales de GES (en Gt équiv.-CO<sub>2</sub>) en l'absence de politiques climatiques : six scénarios illustratifs de référence (SRES, lignes colorées) et intervalle au 80<sup>e</sup> percentile des scénarios publiés depuis le SRES (post-SRES, partie ombrée). Les lignes en pointillés délimitent la plage complète des scénarios post-SRES. Les GES sont le CO<sub>2</sub>, le CH<sub>4</sub>, le N<sub>2</sub>O et les gaz fluorés. À droite : Les courbes en trait plein correspondent aux moyennes multimodèles du réchauffement en surface pour les scénarios A2, A1B et B1, en prolongement des simulations relatives au XX<sup>e</sup> siècle. Ces projections intègrent les émissions de GES et d'aérosols de courte durée de vie. La courbe en rose ne correspond pas à un scénario mais aux simulations effectuées à l'aide de modèles de la circulation générale couplés atmosphère-océan (MCGAO) en maintenant les concentrations atmosphériques aux niveaux de 2000. Les barres sur la droite précisent la valeur la plus probable (zone foncée) et la fourchette probable correspondant aux six scénarios de référence du SRES pour la période 2090-2099. Tous les écarts de température sont calculés par rapport à 1980-1999. (Figures 3.1, 3.2)

**Figure 32 : Scénarios d'émission de gaz à effet de serre entre 2000 et 2100 selon les scénarios du GIEC. Sources : (GIEC, 2008)**

Malgré la prise de conscience du phénomène du réchauffement climatique, des conséquences en jeu et de nombreuses conférences internationales sur le sujet, les actions politiques restent très limitées. Les objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre retenus par le GIEC pour réduire les risques climatiques, sont loin d'être respectés à court et long termes par les états. La coopération internationale sur ces enjeux semble être dans une impasse, se limitant à des discours non contraignants. L'AIE estime que l'application réelle des propositions environnementales suggérées par les états induirait une hausse d'au moins 3.5°C dans le long terme, bien au-dessus du seuil de 2°C proposé par le GIEC. Le retard croissant dans l'application de ces politiques augmente les coûts futurs de réduction des émissions, mais impliquent également que les choix d'investissements énergétiques et industriels actuels, à forte intensité en carbone, limitent le champ d'action pour les vingt ou trente prochaines années (IEA, 2010a; Percebois & Mandil, 2012).

La Chine est le plus gros pays émetteur de CO<sub>2</sub> en 2010, avec 26.2 % des émissions mondiales (hors-procédés industriels). Surtout, l'augmentation des émissions en Chine est de +267 % entre 1990 et 2010, et se poursuit d'année en année. Les Etats-Unis demeurent le deuxième pays émetteur de CO<sub>2</sub> dans le monde avec 17.7 % des émissions, mais avec une progression bien plus modérée depuis 1990, s'élevant à +11.3 %. L'Europe, dans son ensemble, représente 14.8 % des émissions en 2010, ce qui ne constitue qu'une très légère augmentation depuis 1990 (EIA, 2012a). Ces quantités respectives décrivent la situation et les tendances pour les émissions de CO<sub>2</sub>. Si une telle augmentation des émissions se poursuit en Chine, ou dans les autres pays émergents, le risque climatique deviendra une certitude.

## ii. Politiques environnementales en Europe

---

Face à ces risques climatiques, l'Europe, comme le Japon et l'Australie, tente d'anticiper et de lancer un mouvement global de politiques de réduction des gaz à effet de serre. Nous concentrons les propos uniquement sur le cas de l'Union européenne, notamment sur les trois grands accords concernant le réchauffement climatique et l'efficacité énergétique.

Le protocole de Kyoto est le premier à mettre en place des objectifs contraignants de réduction ou de limitation des émissions de gaz à effet de serre. Il est entré en vigueur en février 2005. Ce protocole s'inscrit après la prise de conscience internationale du risque climatique qui a eu lieu lors de la conférence de Rio de Janeiro en 1992. L'objectif de cet accord international est de réduire d'environ 5.2 % les émissions des pays développés pour la période 2008-2012 par rapport au niveau de 1990. Il est ratifié par les pays européens ainsi que par la plupart des autres pays développés tels que le Japon, le Canada et la Russie pour ce qui concerne les pays sous contraintes (Annexe I). Les Etats-Unis est le seul pays développé à avoir refusé la ratification du traité. Depuis, le Canada a également annoncé vouloir quitter le protocole de Kyoto en décembre 2012. Trois mécanismes supplémentaires peuvent permettre aux pays de rester dans leurs quotas, (Hansen & Percebois, 2010):

- Le marché international des droits d'émission (IET)
- Les mécanismes pour un développement propre (CDM)
- Application conjointe entre pays industrialisés (JI)

Le protocole de Kyoto, dont la fin était prévue en 2012, a été prolongé lors de la conférence de Durban en décembre 2011. Néanmoins, il n'existe pour le moment aucun accord sur la seconde phase du protocole. Seule une feuille de route prévoyant un accord en 2015, pour une entrée en vigueur en 2020 a été ratifiée. La place désormais importante des pays émergents dans l'économie mondiale et leur participation dans les efforts de réduction d'émissions cristallisent les débats (Caramel, 2011).

Afin d'atteindre les niveaux imposés par les quotas d'émissions du protocole de Kyoto, l'Union européenne a mis en place le système d'échange de quotas d'émissions de gaz à effet de serre (EU-ETS) en 2005. Les plafonds d'émissions pour chaque pays sont définis dans un plan national d'allocation de quotas (PNAQ) par les états membres et soumis ensuite à la Commission européenne (Djemaa, 2009). Ce système ne concerne que les industries fortement émettrices de gaz à effet de serre (dont le secteur énergétique). Il repose sur des mécanismes proches de ceux du protocole de Kyoto ; marchés des quotas d'émissions et possibilité de lier ces quotas aux mécanismes du protocole. Cet accord est composé des trois phases suivantes : 2005-2007, 2008-2012, 2013-2020. L'objectif est de réduire de 20 % les émissions de gaz à effet de serre par rapport à 1990. Dans les deux premières phases, les quotas ont été alloués gratuitement. La première phase a été considérée comme incertaine et inefficace (Hansen & Percebois, 2010). Les quotas alloués étaient supérieurs aux émissions de l'industrie européenne, ce qui a fait chuter le prix du CO<sub>2</sub>. La phase II a permis de modifier les règles. Cependant, la crise économique de 2009 a fortement réduit l'activité industrielle et donc les besoins en quotas. Là encore, le prix du CO<sub>2</sub> est resté aux alentours de 14€/tCO<sub>2</sub>, bien en-dessous des prévisions (Hansen & Percebois, 2010). La phase III apporte un changement majeur avec la mise aux enchères partielle des quotas à partir de 2013. La proportion d'allocations gratuites dépend du risque de perte de compétitivité de chaque secteur. Cette proportion peut atteindre 100 % pour les secteurs les plus en danger. Les secteurs concernés par les allocations gratuites sont, entre autres, la sidérurgie, l'aluminium, la chimie organique, le verre et le ciment (European Commission, 2009).

Enfin, la dernière mesure environnementale européenne se présente sous la forme du Paquet Energie-Climat adopté par le Conseil européen en décembre 2008. Cet accord fixe une série de trois objectifs à l'horizon 2020, souvent dénommés « 3\*20 » :

- Réduction de 20 % des émissions de gaz à effet de serre par rapport à 1990.
- Augmentation de la part des énergies renouvelables dans la consommation finale d'énergie à 20 %.
- Amélioration de 20 % de l'efficacité énergétique.

Ce paquet législatif concerne tous les pays de l'Union européenne élargie et tous les secteurs émetteurs. Le système EU-ETS, présenté ci-dessus, fait partie intégrante de ces mesures. L'objectif fixé est de réduire de 21 % les émissions dans les secteurs ETS et de 10 % hors secteurs ETS (transports, services, bâtiments, etc.) en 2020, par rapport au niveau de 2005. Cela représente une réduction globale de 14 % des émissions par rapport à 2005, soit une baisse de 20 % par rapport à 1990. L'effort porte principalement sur les industries manufacturière et énergétique, couvertes par les EU ETS (Percebois & Mandil, 2012).

Ces trois accords constituent le corps de la politique environnementale européenne afin de répondre aux enjeux du réchauffement climatique. Cependant, les effets d'entraînement sur les autres pays sont décevants. Seuls quelques pays, ou états américains, ont suivi le mouvement, comme l'Australie ou la Californie.



### iii. Enjeux pour la compétitivité de l'industrie

---

Dans ce contexte de non coopération des puissances internationales sur la question environnementale, une des principales inquiétudes des industriels avec l'instauration d'une politique environnementale contraignante réside dans le risque de perte de compétitivité induit par des coûts supplémentaires. D'un point de vue théorique, une taxe environnementale permet d'internaliser le coût de la pollution par ces producteurs. Si le niveau de la taxe ou du plafond d'émissions est correctement fixé, alors l'instauration d'une politique environnementale crée un bénéfice économique pour la société. De plus, si les revenus de la taxe, ou de l'allocation aux enchères des quotas d'émission, permettent de remplacer, comme source de revenu de l'état, les fiscalités créant une distorsion économique, alors une telle politique devient attractive. Elle permet à la fois de réduire les coûts sociaux de la pollution et de supprimer les taxes les moins efficaces avec un niveau de revenu équivalent pour l'état (Bureau & Mougeot, 2004).

Cette approche convient notamment aux problèmes de pollution locale, tel que le rejet de dioxyde de soufre. Elle est alors plus efficace que la régulation environnementale quand le nombre de procédés et d'acteurs est important. Cependant, pour des problèmes de pollution à l'échelle mondiale comme le réchauffement climatique, les mécanismes sont beaucoup plus complexes. Une hausse des coûts de production liée à une contrainte environnementale, peut potentiellement impliquer une perte de parts de marché pour une industrie nationale, si les concurrents internationaux ne sont pas soumis à une contrainte similaire (Bureau & Mougeot, 2004). L'impact de cette perte de compétitivité est à comparer à celui d'autres facteurs de compétitivité. Si une industrie est très performante dans un pays, du fait d'une meilleure productivité ou de ressources abondantes, elle peut plus facilement supporter de nouvelles contraintes environnementales. De même, si la valeur de la taxe environnementale est très faible, il est probable que l'effet compétitif reste marginal. Ainsi, des travaux sur l'impact des quotas d'émissions de gaz à effet de serre sur l'industrie européenne n'ont trouvé aucune conséquence significative (Costantini & Mazzanti, 2012; Reinaud, 2008; Tomas et al., 2010). En effet, la faiblesse des prix du CO<sub>2</sub> durant les deux premières phases, ainsi que l'allocation gratuite et abondante des quotas réduisent significativement l'impact du système EU-ETS sur la compétitivité des industries.

Au niveau international, pour une pollution transfrontalière, une asymétrie importante des coûts environnementaux peut avoir des conséquences économiques significatives. D. Bureau et M. Mougeot (2004) décrivent ainsi un possible mécanisme de dumping écologique stratégique. Un pays peut avoir intérêt à placer le niveau de contrainte environnementale à un niveau inférieur à celui d'un pays concurrent. Cela lui permet à la fois de capturer la rente et de profiter de la réduction des émissions dans le pays introduisant une contrainte environnementale. De plus, cela peut créer un problème de fuite de carbone, dans le sens où le bilan global de l'introduction d'une politique environnementale pour un polluant transfrontalier peut être négatif. En effet, les industries les plus polluantes peuvent délocaliser leur production et s'établir dans des pays avec une faible régulation environnementale, polluant alors plus qu'auparavant. Ce risque de dumping écologique est surtout vérifié dans une situation de compétition imparfaite, d'actions non-coordonnées des états et avec la présence d'un faible nombre d'acteurs sur les marchés nationaux (Bureau & Mougeot, 2004). Cela correspond donc à la situation actuelle des marchés dans la plupart des industries grandes consommatrices d'énergie, les plus affectées par une politique environnementale sur les émissions de gaz à effet de serre. De plus, ce problème peut être amplifié, par manque de flexibilité, quand les institutions internationales se préoccupent plus de la politique commerciale que de la politique environnementale (Bureau &

Mougeot, 2004). C'est actuellement le cas avec une Organisation Mondiale du Commerce (OMC) puissante, possédant des outils de sanction, et à l'opposé, aucune institution internationale établie sur le réchauffement climatique.

Dès lors, il apparaît donc important de considérer la question de la compétitivité pendant la phase d'élaboration et de négociation d'une politique environnementale concernant des pollutions transfrontalières. L'absence d'une coopération internationale significative est non seulement un problème pour la réduction globale du réchauffement climatique, mais cela freine également la volonté des états de développer une politique unilatérale. L'aspect environnemental de la politique énergétique est donc encore fortement restreint par l'aspect économique. Dans ce contexte, il convient de déterminer avec précision l'impact des prix de l'énergie et des régulations environnementales sur la compétitivité de l'industrie, dans le but de proposer une politique environnementale ambitieuse. Mais, à la considération des conséquences du réchauffement climatique, « *sans sous-estimer la contrainte liée à l'épuisement des ressources énergétiques fossiles, c'est la contrainte environnementale qui prend aujourd'hui le pas sur celle du 'peak-oil'* » (Percebois & Mandil, 2012, p.10).



### 1.1.3) CONCLUSION SUR LE CONTEXTE ECONOMIQUE ET ENERGETIQUE

Les industries française et européenne sont dans une situation particulière. Elles doivent s'adapter à une longue crise économique, à l'émergence de nouveaux pays concurrents et compétitifs, à une réorientation des marchés de l'énergie vers ces pays et à une contrainte considérable liée au risque de changement climatique. Un manque de capacité d'adaptation peut impliquer la poursuite, voire l'accélération du mouvement de désindustrialisation. La faiblesse ou l'absence de stratégies industrielles et énergétiques communes dans l'Union européenne peut alors se révéler désastreuse. En effet, ces dernières années, l'industrie manufacturière est devenue réellement intégrée sur le plan européen. La chaîne de valeur industrielle est le plus souvent fragmentée sur plusieurs pays. Une gestion uniquement nationale des questions de compétitivité en Europe, risque donc de mener à une dynamique incohérente de l'industrie face aux grands concurrents internationaux. Cependant, ces politiques communes ne doivent pas être des forces interventionnistes dans les marchés, mais doivent permettre de défendre les intérêts communs de l'industrie européenne. L'Europe doit former une entité industrielle cohérente et plus seulement un marché commun. De même, pour l'énergie et l'environnement, la politique commune est déjà plus évoluée, mais des avancées importantes sont encore nécessaires.

La description du contexte économique et énergétique actuel démontre donc l'importance de la compréhension des mécanismes qui relient ces deux systèmes dans l'industrie manufacturière. Il n'est plus possible de considérer chaque aspect de manière isolée. Une meilleure connaissance des mécanismes peut alors permettre de mieux anticiper les réactions futures des acteurs industriels et d'optimiser les politiques publiques. Les travaux de cette thèse s'inscrivent dans cette problématique par l'étude du lien entre énergie et compétitivité économique. Pour cela, il est d'abord nécessaire de décrire précisément le rôle de l'énergie dans l'industrie et de mieux définir la notion de compétitivité.

## **1.2) L'ENERGIE DANS L'INDUSTRIE MANUFACTURIERE : LES INDUSTRIES GRANDES CONSOMMATRICES D'ENERGIE**

Suite à la présentation des principaux enjeux liés à l'énergie dans les années à venir, il est nécessaire de mieux situer la place de l'industrie dans la consommation d'énergie. Dans ce but, la première partie de cette section décrit la répartition de la consommation d'énergie dans l'industrie manufacturière et son évolution depuis 1990. Il devient alors possible de déterminer si l'industrie constitue un déterminant important de la demande énergétique globale. Inversement, la dépense énergétique moyenne de chaque secteur industriel européen est comparée à sa valeur de production et à sa valeur ajoutée, afin de connaître l'importance de l'énergie pour chaque industrie. Cela permet d'identifier rapidement la dépendance de chaque secteur industriel aux prix de l'énergie ; les industries grandes consommatrices d'énergie (IGCE).

Ensuite, la structure économique des IGCE est analysée. Cela permet de mesurer leur hétérogénéité économique et donc d'estimer si l'on peut étudier ces industries comme un bloc commun ou si chacune possède un comportement différent. De même, l'étude des performances de ces industries au niveau international dans différents pays, permet de voir si celles-ci sont communes à un secteur pour tous les pays de l'OCDE, ou si elles dépendent de conditions propres à chaque pays.

Enfin, la dernière partie de cette section décrit l'adaptation des IGCE aux contraintes énergétiques et climatiques ces dernières années, en Europe de l'Ouest. Le but est d'estimer si ces industries sont capables de réduire leur intensité énergétique et leur intensité en CO<sub>2</sub> afin de répondre aux objectifs de limitation du réchauffement climatique dans l'avenir. Les moyens et les coûts de ces réductions sont alors décrits afin d'estimer le poids de telles politiques environnementales sur chaque industrie.

### **1.2.1) LA CONSOMMATION D'ENERGIE DANS L'INDUSTRIE MANUFACTURIERE**

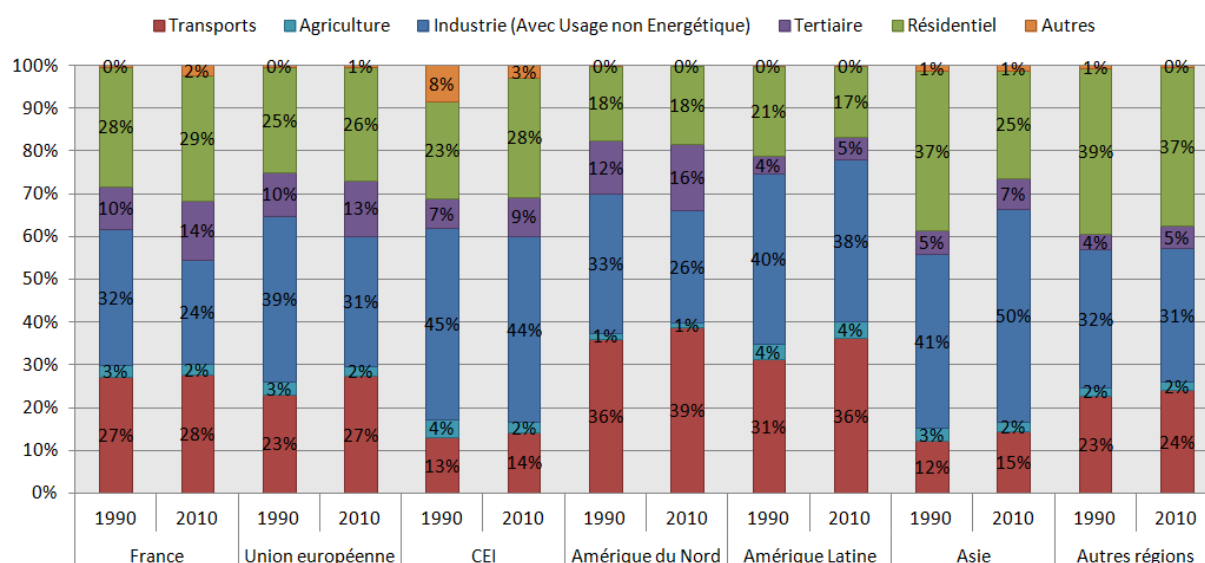
#### **1.2.1.1) REPARTITION DE LA CONSOMMATION D'ENERGIE DANS L'INDUSTRIE ENTRE PAYS ET SECTEURS**

##### **i. L'énergie dans l'industrie mondiale**

La consommation d'énergie finale de l'industrie<sup>11</sup> constitue, en moyenne, 37 % de la consommation totale, dans le monde, en 2010. C'est donc le premier secteur consommateur d'énergie finale devant les transports (27 %), le résidentiel (24 %) et le tertiaire (9 %), (Figure 33). Cette part de l'industrie dans la consommation l'énergie est quasiment équivalente à celle de 1990. La répartition de la consommation d'énergie entre les secteurs de l'économie a peu changé au niveau mondial depuis 20 ans.

<sup>11</sup> Dans toute cette partie, nous considérons également l'énergie utilisée comme matière première dans la consommation d'énergie finale de l'industrie. C'est-à-dire que nous incluons le gaz et le pétrole utilisés dans la chimie ainsi que le charbon utilisé dans la sidérurgie, qui sont non pas brûlés comme des combustibles mais insérés dans le produit final. De plus, ce qui relève de la production et de la transformation d'énergie n'est pas pris en compte.

Néanmoins, cette stabilité de la répartition de la consommation d'énergie est moins vérifiée à l'échelle continentale. Dans les pays développés, la part de l'industrie dans la consommation d'énergie diminue depuis 1990. En France, la baisse est de sept points entre 1990 et 2010. C'est une baisse comparable à celle de l'ensemble de l'Union européenne ou de l'Amérique du Nord. Ce sont surtout les parts du tertiaire, du résidentiel et, dans une moindre mesure, des transports qui ont progressées. A l'inverse, dans les pays émergents, la part de l'industrie dans la consommation d'énergie augmente fortement aux dépens de l'agriculture et du résidentiel. Par exemple, la part de l'industrie en Chine a augmenté de 13 points depuis 1990, pour atteindre 58 % des consommations totales d'énergie finale de l'économie chinoise. L'industrie constitue donc un facteur majeur de l'évolution de la demande en énergie dans le monde.

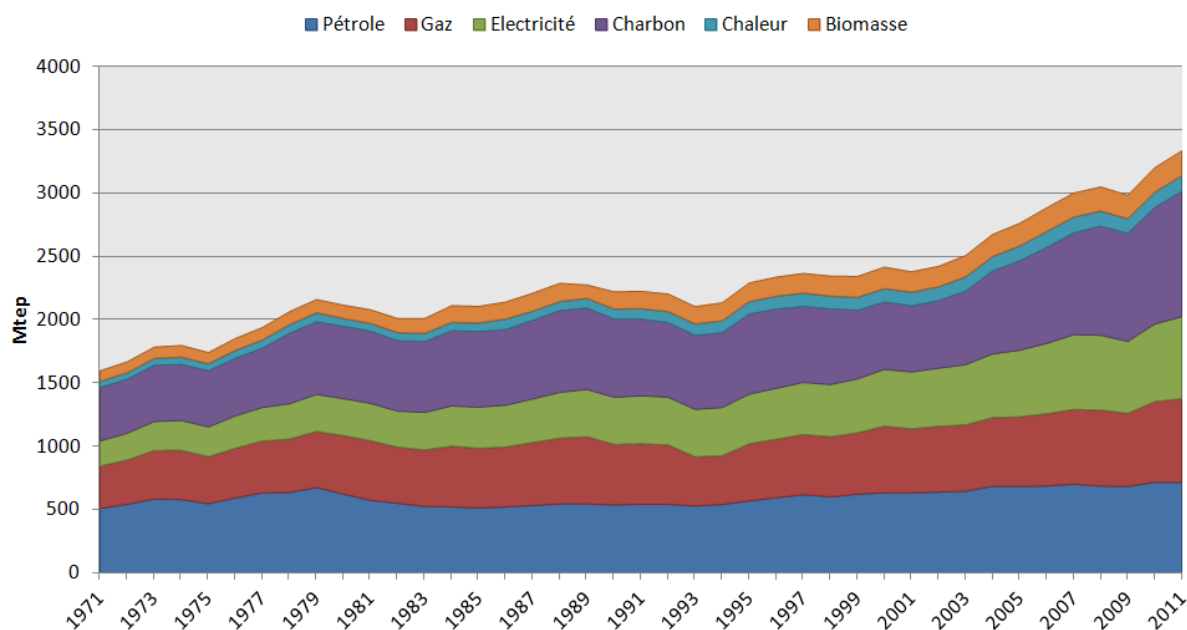


**Figure 33 : Répartition de la consommation finale d'énergie par secteur économique dans différentes régions du monde en 1990 et 2010. Sources : Estimé à partir de (Enerdata, 2010)**

La consommation d'énergie finale dans l'industrie manufacturière mondiale a d'abord augmenté dans le début des années 1970, surtout pour le pétrole (Figure 34). Elle a ensuite diminué après les deux crises pétrolières de 1973 et 1979, et à l'effort conséquent d'amélioration de l'efficacité énergétique dans l'industrie. Il faut attendre 1988 pour que la consommation d'énergie de l'industrie revienne au niveau de celle de 1979. Par la suite, la consommation de l'industrie stagne pendant plus de 10 ans jusqu'en 2003. Pendant cette période, la consommation de pétrole diminue au profit, entre autres, de l'électricité.

Ensuite, durant la dernière décennie, l'augmentation de la consommation d'énergie industrielle est très forte avec l'émergence des nouveaux pays industrialisés et ceci malgré la crise économique de 2009. Entre 1979 et 2002, la consommation a augmenté de 770 Mtep dans le monde, alors qu'elle a augmenté de plus de 1250 Mtep entre 2003 et 2011. Lors de cette envolée de la consommation d'énergie dans l'industrie, c'est principalement le charbon qui a connu la plus forte hausse de consommation, suivi de l'électricité et du gaz, reflétant ainsi le mix énergétique des pays émergents. Le pétrole n'est donc plus la première énergie consommée dans l'industrie, contrairement à la situation du début des années 2000. La première énergie consommée est désormais le charbon qui représente

36 % de la consommation mondiale. La part de l'électricité a continuellement augmenté dans le mix énergétique de l'industrie, passant de 14 % en 1971 à 24 % en 2011.

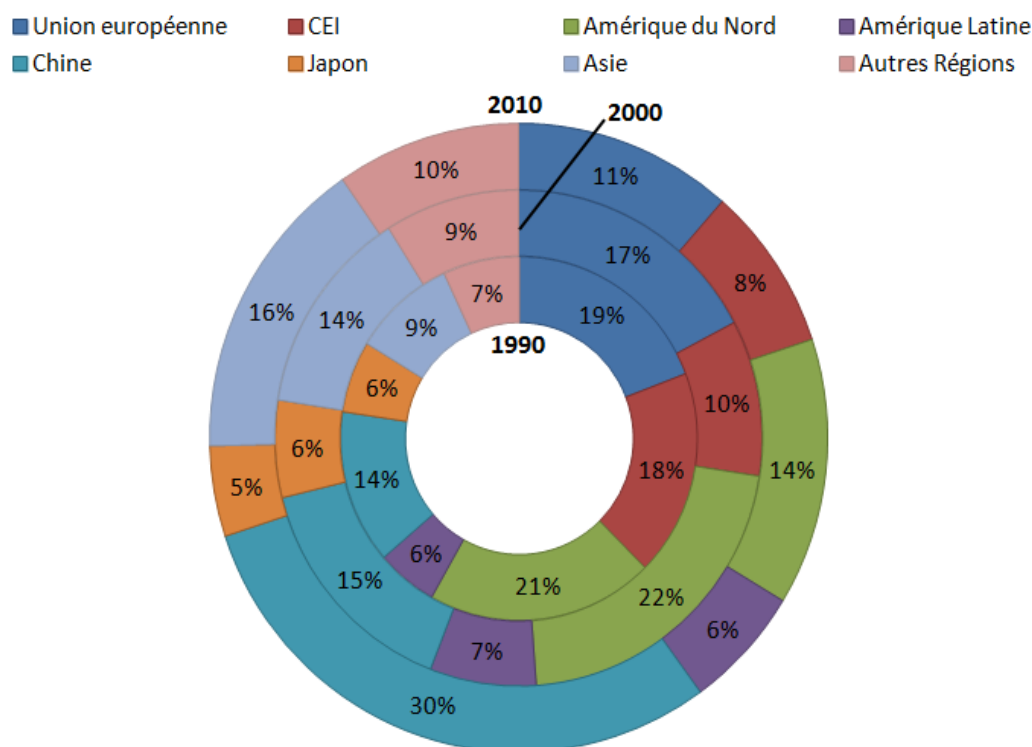


**Figure 34 : Evolution de la consommation finale d'énergie dans l'industrie dans le monde par type d'énergie entre 1971 et 2011. Sources : Estimé à partir de (Enerdata, 2010)**

L'impact de l'émergence des nouveaux pays industrialisés (Chine, Inde, Corée du Sud, Brésil) apparaît très clairement à la fois sur le niveau de consommation d'énergie dans le monde ainsi que sur le mix énergétique. La figure 35 confirme cette nouvelle répartition géographique de la consommation d'énergie dans l'industrie. En 1990, la consommation est principalement répartie entre l'Amérique du Nord, l'Union européenne et le bloc soviétique<sup>12</sup> (58 %). Entre 1990 et 2000, on assiste à une chute de la consommation de l'industrie des anciens pays du bloc soviétique avec la chute de l'URSS.

C'est surtout entre 2000 et 2010, que l'équilibre géographique de la consommation industrielle d'énergie change au niveau mondial. La Chine et l'Asie, ainsi que les autres régions du monde, Moyen-Orient et Afrique, connaissent une croissance très rapide de la consommation d'énergie dans leur industrie. La Chine constitue 30 % de la consommation mondiale industrielle en 2010. A l'inverse, l'Amérique du Nord, l'Union européenne et les anciens pays soviétiques ne représentent ensemble plus que 33 % de la demande mondiale. La part de ces pays a donc quasiment été divisée par deux en vingt ans. Désormais, l'industrie chinoise consomme une quantité d'énergie considérable à la fois par rapport aux autres industries nationales, mais aussi par rapport à la demande totale en énergie dans le monde. En effet, l'industrie chinoise représente, à elle seule, 11 % des consommations totales d'énergie dans le monde.

<sup>12</sup> CEI



**Figure 35 : Répartition mondiale de la consommation finale d'énergie dans l'industrie en 1990, 2000 et 2010. Sources : Estimé à partir de (Enerdata, 2010)**

## ii. L'énergie dans l'industrie européenne

L'industrie manufacturière européenne a consommé environ 350 Mtep d'énergie en 2011, soit 15 % de moins que par rapport à 2007, avant la crise économique. Néanmoins, ce chiffre englobe des situations très différentes selon les pays européens ainsi que selon les secteurs industriels. La figure 36 illustre la répartition de la consommation d'énergie finale selon chaque secteur industriel dans les principaux pays européens en 2009. Ces chiffres reflètent à la fois la spécialisation industrielle de chaque pays et l'intensité énergétique des secteurs industriels. Pour l'Union européenne dans son ensemble, le principal secteur consommateur d'énergie est la chimie/pétrochimie (32 %), suivi des industries du bois et du papier (14 %), de la sidérurgie (12 %) et des minéraux non-métalliques (12 %).

Certains pays possèdent des secteurs concentrant une part plus importante des consommations d'énergie que dans la moyenne européenne. Pour la Belgique et les Pays-Bas, plus de 60 % de la consommation d'énergie de l'industrie a lieu dans le secteur de la chimie/pétrochimie. De même, en Suède et en Finlande, les industries du bois et du papier consomment plus de la moitié de l'énergie, une part environ quatre fois supérieure à la moyenne européenne. En Slovaquie et en Roumanie, la sidérurgie utilise une grande part de l'énergie dans l'industrie (respectivement 36 % et 23 %). La France se caractérise par la très forte consommation d'énergie des industries agro-alimentaires (IAA), la plus élevée en Europe. Les spécialisations industrielles nationales différencient donc fortement la consommation d'énergie dans les industries des pays européens.

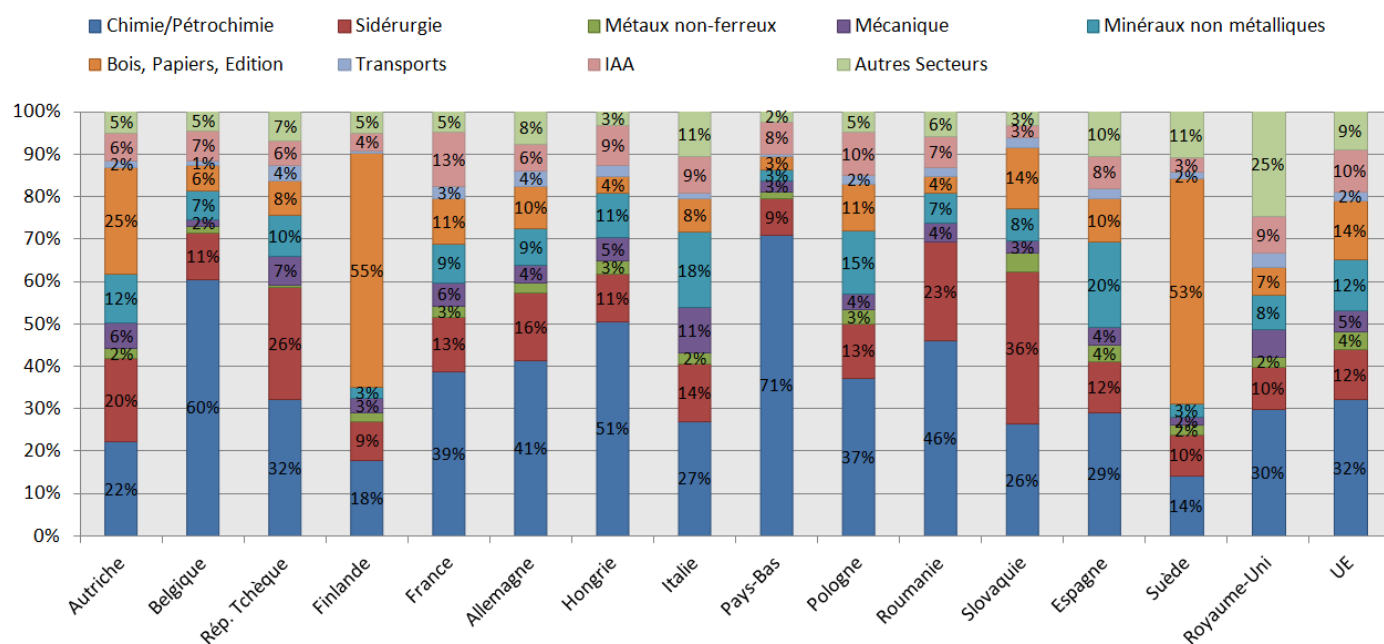


Figure 36 : Répartition par secteur de la consommation finale d'énergie dans l'industrie européenne en 2009. Sources : Estimé à partir de (Enerdata, 2010)

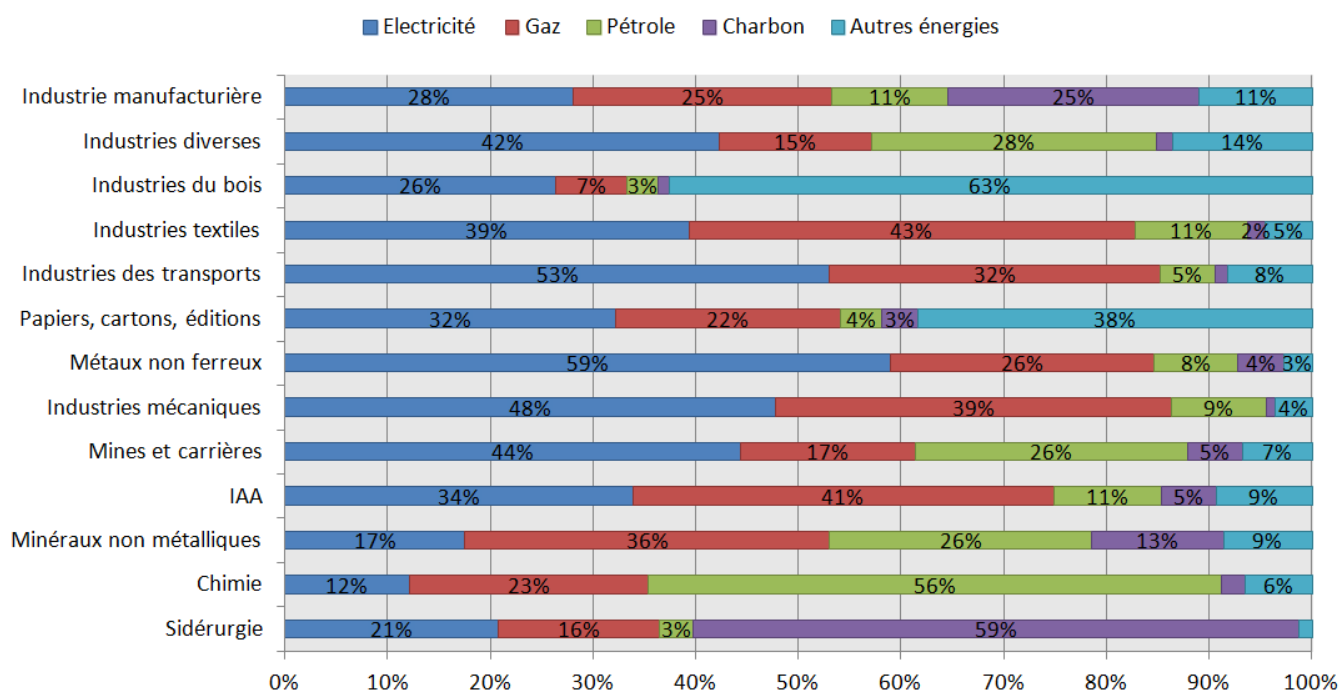


Figure 37 : Profil de consommation par forme d'énergie dans l'industrie européenne en 2009. Sources : Estimé à partir de (Enerdata, 2010)

Cette consommation industrielle contraste également par le mix énergétique utilisé dans chaque secteur. La figure 37 illustre ce point en présentant le profil de consommation par forme d'énergie dans l'Union européenne. En moyenne, l'électricité, le gaz et le charbon constituent chacun un quart de la consommation industrielle. Le pétrole et le charbon sont donc moins présents dans l'industrie européenne que dans l'industrie mondiale (Figure 34), au profit de l'électricité et du gaz. En fait, la consommation de produits pétroliers en Europe, dépend principalement du secteur de la chimie/pétrochimie et, dans une moindre mesure, des minéraux non-métalliques. De même, le charbon est surtout consommé dans la sidérurgie, assez peu dans les autres secteurs. Les métaux non-ferreux, les industries mécaniques et du transport, les mines et carrières ainsi que le papier utilisent principalement de l'électricité. Le gaz est très présent dans les industries textiles et mécaniques, dans les IAA et dans les minéraux non-métalliques. Les autres énergies, dont la biomasse, sont très importantes dans les industries du bois et du papier.

### **1.2.1.2) LES COUTS DE L'ENERGIE DANS L'INDUSTRIE MANUFACTURIERE EN EUROPE**

L'importance de l'industrie dans la consommation d'énergie finale totale vient d'être démontrée. Il convient désormais d'analyser ce lien entre énergie et industrie sous l'angle inverse, celui du rôle de l'énergie dans l'industrie. Dans ce but, cette section compare l'importance des achats de produits énergétiques parmi les secteurs industriels. Afin de corriger de l'effet de taille, ces achats sont comparés à la valeur de la production industrielle ainsi qu'à la valeur ajoutée de chaque secteur. Il est alors possible d'identifier les industries les plus sensibles aux variations des prix de l'énergie. Cette analyse permet de distinguer deux groupes de secteurs dans l'industrie manufacturière ; les industries grandes consommatrices d'énergie (IGCE) et l'industrie diffuse.

Il existe différents moyens d'identifier les IGCE, nous en retenons ici deux : le ratio des dépenses énergétiques sur la valeur de production et celui sur la valeur ajoutée (Djemaa, 2009). Le premier ratio a été défini par le Conseil européen dans la directive 2003/96/CE sur la cadre communautaire de taxation des produits énergétiques et de l'électricité (Conseil Européen, 2003). Les industries IGCE sont celles pour lesquelles les dépenses énergétiques représentent plus de 3 % de la valeur de production<sup>13</sup>. Dans l'industrie manufacturière, la moyenne des dépenses énergétiques est d'environ 2.5 % de la valeur de production.

La figure 38 classe les 50 premières industries<sup>14</sup> dont le ratio des dépenses énergétiques sur la valeur de production est le plus élevé. Le niveau précis de nomenclature utilisé permet de mettre en avant la situation réelle des secteurs, sans utiliser de moyenne basée sur un agrégat d'industries. Seuls 21 secteurs industriels sur 101 peuvent être considérés comme des IGCE selon la définition du Conseil européen, tels la fabrication de ciment, chaux et plâtre, la production de papier, la fabrication de verre, la sidérurgie, l'industrie chimique, les métaux non-ferreux ainsi que d'autres secteurs des minéraux non-métalliques ou du textile. Pour les produits minéraux non-métalliques comme le ciment ou les briques en terre cuite, les dépenses énergétiques peuvent représenter plus de 15 % de la valeur de production.

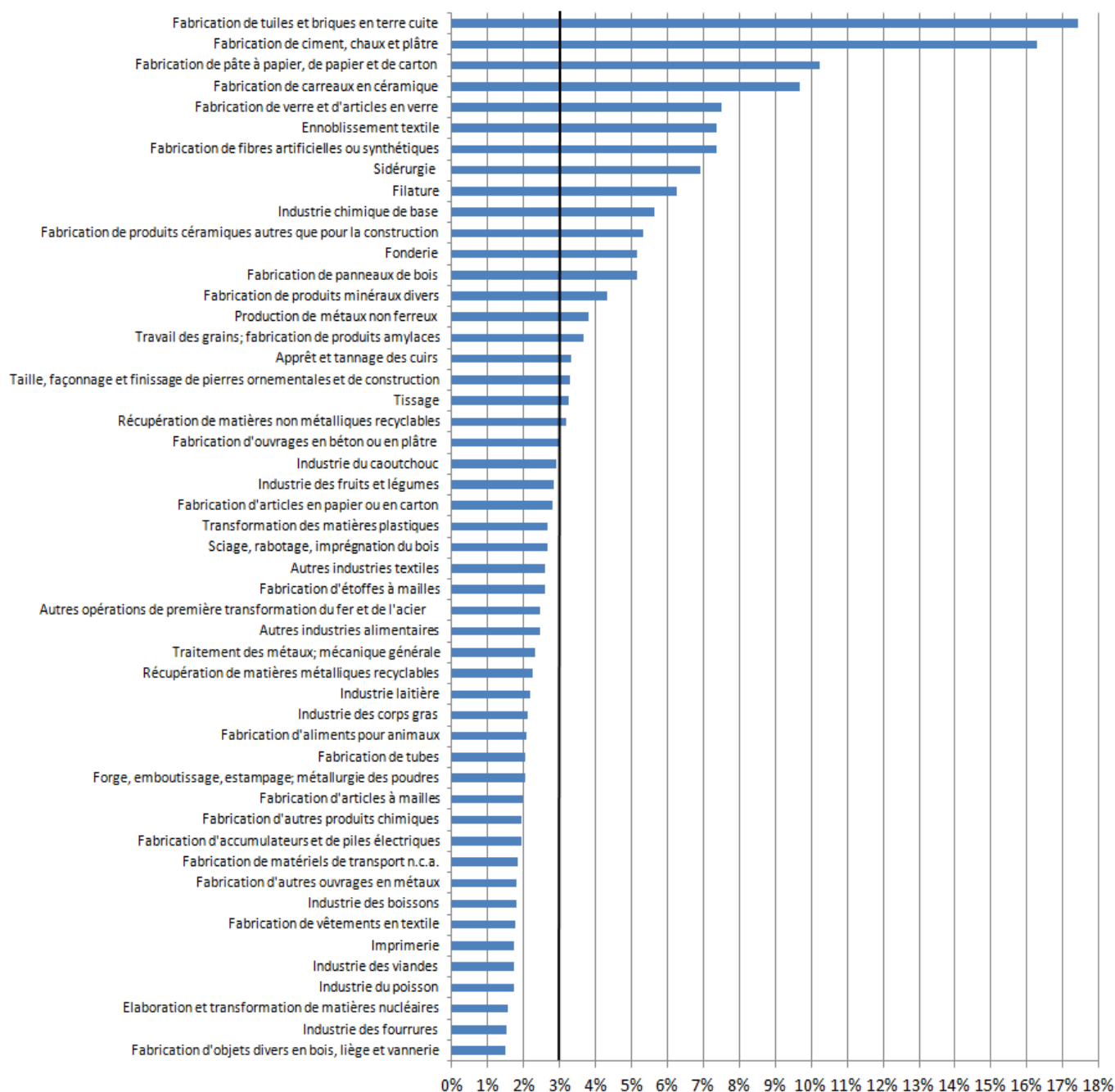
<sup>13</sup> Les industries dont le montant total des taxes énergétiques nationales est supérieur à 0.5 % de la valeur ajoutée sont aussi considérées comme des IGCE.

<sup>14</sup> La définition des industries correspond à celle de la nomenclature européenne NACE rév.1.1 à un niveau de détail à 5 lettres et chiffres (ex. DA152).

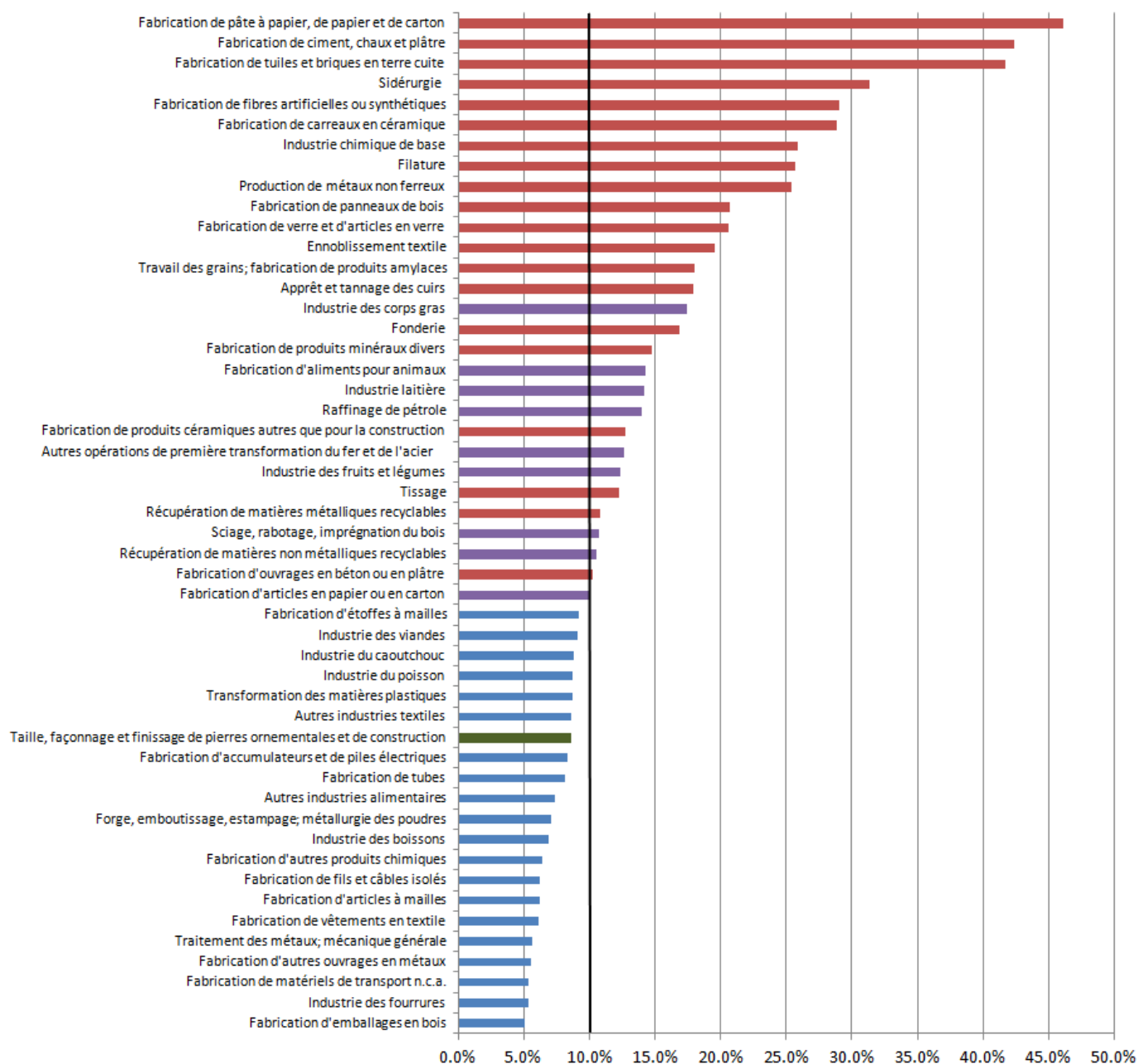
L'autre critère de sélection des IGCE est basé sur la valeur ajoutée des industries (Djemaa, 2009; Martin, 2007). Dans ce cas, une industrie est généralement considérée comme une IGCE, si le ratio des dépenses énergétiques sur la valeur ajoutée dépasse 10 %. La moyenne de l'industrie pour ce critère est de 8.8 %. Comme précédemment, la figure 39 présente les 50 secteurs industriels dont le ratio est le plus élevé. Les IGCE communément identifiées par les deux critères sont en rouge, ceux qui ne le sont que par cette méthode sont en violet. Pour la situation inverse, ils sont en vert. Avec cette méthode, 29 secteurs sont classés comme des IGCE, dont quasiment toutes les industries déjà identifiées avec la méthode précédente. Ce critère est donc moins sélectif que celui sur la valeur de production. Parmi les nouveaux secteurs considérés comme des IGCE, on retrouve beaucoup d'industries agro-alimentaires comme le lait ou les corps gras. On peut également noter que les dépenses énergétiques représentent plus de 40 % de la valeur ajoutée dans le papier, le ciment et les briques.

Les achats de produits énergétiques constituent donc une part significative de la valeur de production ou de la valeur ajoutée dans environ un quart des secteurs industriels en Europe. Ce sont souvent des secteurs en amont de la chaîne de production industrielle, produisant des biens intermédiaires. Pour ces secteurs, la question des prix de l'énergie fait partie intégrante des enjeux de compétitivité industrielle face aux concurrents internationaux. Il est donc nécessaire de quantifier précisément l'impact de ces prix de l'énergie sur leur activité et de le pondérer par rapport à d'autres facteurs de compétitivité comme les salaires, la productivité ou l'accès aux matières premières. C'est l'objet de la deuxième partie de cette thèse. Pour les autres secteurs, le lien avec l'énergie n'est pas directement visible au travers de leurs achats énergétiques. Cependant, ces industries faibles consommatrices d'énergie sont souvent en aval de la chaîne de production, c'est-à-dire qu'elles consomment les biens intermédiaires produits par les IGCE. Or, les produits des IGCE dépendent fortement des prix de l'énergie, il est donc très probable que le prix des biens intermédiaires consommés par l'industrie diffuse soient également dépendants de l'évolution des prix de l'énergie. L'énergie peut alors indirectement affecter la compétitivité de ces secteurs en aval. L'étude des liens énergétiques entre les industries constitue la troisième partie de cette thèse.





**Figure 38 : Ratio des dépenses énergétiques sur la valeur de la production dans l'industrie européenne en 2007. Sources : Estimé à partir de (Eurostat, 2012a)**



**Figure 39 : Ratio des dépenses énergétiques sur la valeur ajoutée dans l'industrie européenne en 2007. En rouge, ce sont les secteurs identifiés comme IGCE dans les deux méthodes. En violet : les secteurs IGCE identifiés avec le ratio sur la valeur ajoutée. En vert : Les secteurs IGCE identifiés avec le ratio sur la valeur de production.**

Sources : Estimé à partir de (Eurostat, 2012a)

### 1.2.2) STRUCTURE ECONOMIQUE DES IGCE : DES SECTEURS HOMOGENES ?

Comme expliqué ci-dessus, la seconde partie de cette thèse étudie le rôle de l'énergie sur la compétitivité des IGCE. Cependant, si ces industries ont en commun une part importante des coûts de l'énergie dans la production, elles ne possèdent pas pour autant une structure économique commune. Cette question est pertinente par rapport à la possibilité ou non d'étudier les IGCE comme un ensemble homogène. Cela éclaire également sur les possibilités d'étendre les résultats d'une étude sur un des secteurs IGCE à tous les autres. Pour cela, la section présente décrit d'abord, les caractéristiques économiques de taille, de dépenses et de performance des différentes IGCE identifiées précédemment. Ensuite, une analyse de la situation des IGCE dans les marchés mondiaux est présentée.

#### 1.2.2.1) CARACTERISTIQUES ECONOMIQUES DES SECTEURS IGCE

Afin d'analyser la structure économique des IGCE, une sélection de variables a été choisie afin de décrire trois dimensions :

- La taille des secteurs dans l'industrie manufacturière pour définir leur importance relative dans l'économie (valeur ajoutée, nombre d'emplois, nombre d'entreprises)
- Les dépenses et investissements dans ces secteurs pour caractériser la nature des facteurs de production (personnel, investissement, R&D, énergie, autres consommations intermédiaires)
- Les performances de chacun de ces secteurs afin d'évaluer leur santé économique (excédent brut d'exploitation, valeur ajoutée par employé et par entreprise)

Le périmètre géographique pris en compte pour les IGCE, se limite aux six principaux pays producteurs industriels européens<sup>15</sup>. Chaque secteur étudié est agrégé sur l'ensemble de ces six pays :

- Allemagne
- Belgique
- Espagne
- France
- Italie
- Royaume-Uni

#### i. Taille économique des secteurs IGCE

Trois variables ont été sélectionnées pour décrire l'importance économique de chaque IGCE dans l'industrie manufacturière. D'abord, la valeur ajoutée définit la richesse créée par une industrie et donc sa contribution à l'activité économique. La figure 40 présente le ratio de cette valeur ajoutée pour chaque secteur par rapport à la valeur ajoutée totale de l'industrie manufacturière.

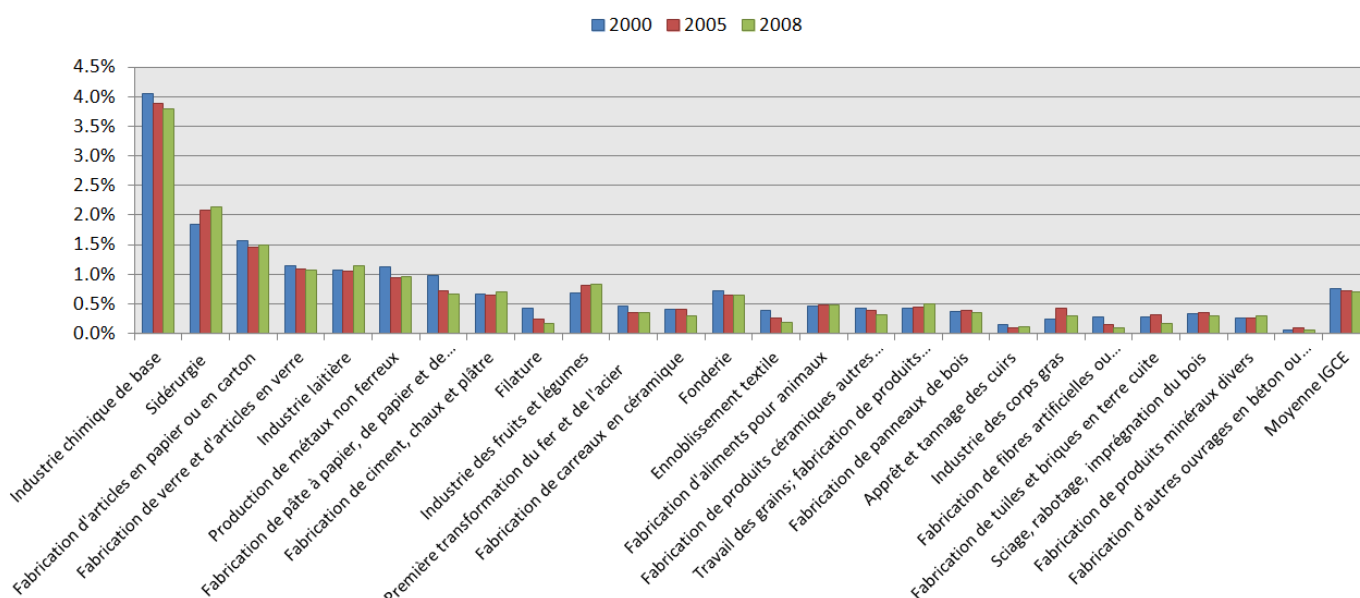
Dans un premier temps, l'industrie chimique de base produit une valeur ajoutée bien supérieure aux autres IGCE (4 %). Cela peut néanmoins provenir de la nomenclature utilisée, qui regroupe de nombreux secteurs dans la chimie de base, ex. engrais, gaz industriels, matières plastiques de base,

---

<sup>15</sup> Les Pays-Bas produisent plus que la Belgique, mais moins de données sont disponibles sur les IGCE de ce pays.

caoutchouc synthétique, etc. Ensuite, la sidérurgie et la fabrication d'articles en papier ou en carton constituent les deux secteurs IGCE créant le plus de valeur ajoutée en Europe de l'Ouest (respectivement 2 % et 1.5 %). Le verre, le lait, les métaux non-ferreux, la pâte à papier, les fruits et légumes, le ciment et la fonderie constituent un groupe d'IGCE de taille moyenne. Les autres secteurs sont plus marginaux dans l'industrie manufacturière.

La tendance générale des secteurs IGCE est à une baisse légère de la valeur ajoutée relativement à l'industrie manufacturière depuis 2000 (-7 %), mais à une hausse en valeur absolue (+9 %). Les secteurs du textile sont ceux qui décroissent le plus vite, comme la filature, les fibres artificielles ou l'ennoblissement textile. Ces trois secteurs ont perdu 36 % de leur valeur ajoutée en 7 ans. A l'inverse, les industries agro-alimentaires sont celles pour lesquelles la valeur ajoutée a le plus augmenté ces dernières années (ex. industries fruits et légumes, travail des grains, industries des corps gras, industrie laitière).

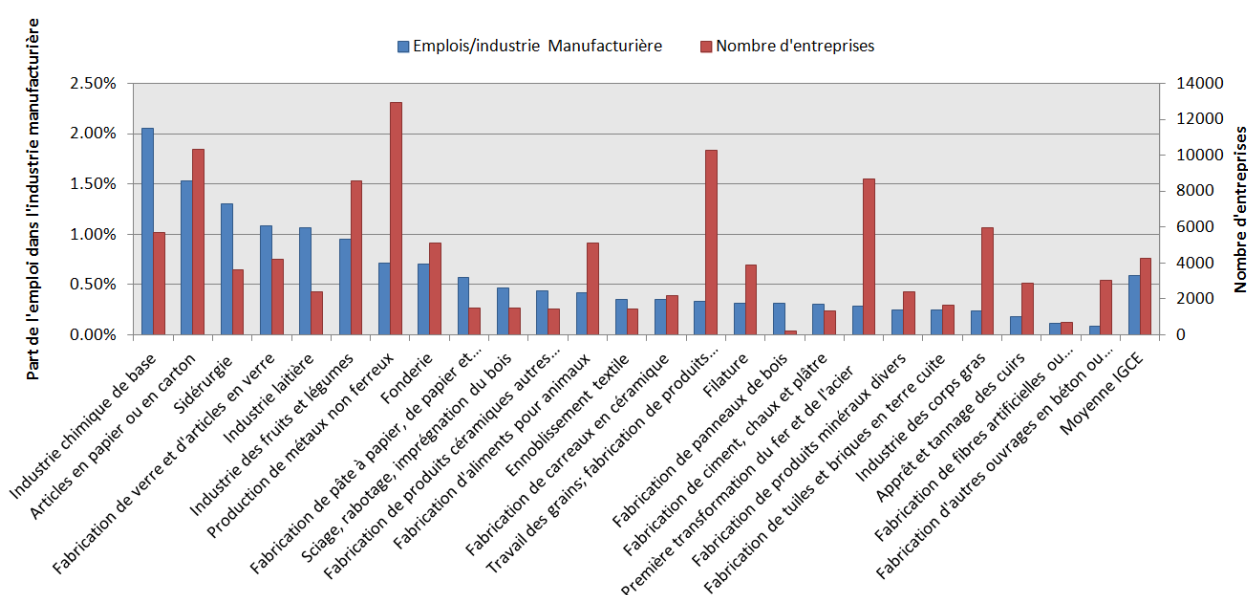


**Figure 40 : Part de la valeur ajoutée des IGCE dans l'industrie manufacturière en Allemagne, Belgique, Espagne, France, Italie et Royaume-Uni en 2000, 2005 et 2007.**  
Sources : Estimé à partir de (Eurostat, 2012a)

Lorsqu'on analyse la part des emplois dans chaque IGCE par rapport à l'industrie manufacturière, on retrouve à peu près la même hiérarchie des secteurs que pour la valeur ajoutée (Figure 41). L'industrie chimique de base, les articles en papier ou en carton ainsi que la sidérurgie sont les secteurs qui emploient le plus de personnes dans les IGCE européenne en 2007. Au contraire, la fabrication de fibres artificielles, d'ouvrages en béton ou plâtre et le tannage des cuirs sont des secteurs peu significatifs en termes d'emplois industriels. Par contre, la hiérarchie dans le nombre d'entreprises par IGCE est très différente de celle des emplois ou de la valeur ajoutée. L'écart entre les emplois et le nombre d'entreprises permet de définir la taille moyenne des entreprises d'une industrie. Notamment, dans l'industrie laitière, la production de pâte à papier et de papier, dans la sidérurgie ainsi que dans la chimie de base, le nombre d'employés par entreprise est élevé, supérieur à 70 employés. Ces secteurs sont donc principalement constitués d'entreprises de grande ou moyenne taille. A l'inverse, les secteurs de la première transformation du fer et de l'acier, les métaux non-ferreux et le travail des

grains sont constitués d'un très grand nombre d'entreprises, supérieur à la plupart des secteurs malgré une taille modérée en valeur de ces industries. En effet, le nombre d'employés par entreprise dans ces industries est inférieur à 10 en moyenne, témoignant ainsi d'une très grande fragmentation de la production.

Il existe donc une hétérogénéité importante des IGCE par rapport à leur importance économique (création de valeur, nombre d'employés) et également vis-à-vis de la structure des entreprises (nombre d'employés par entreprise). Certains secteurs, comme la chimie de base ou la sidérurgie, sont dominants dans les IGCE. D'autres sont de taille moyenne, comme le papier, le verre, le ciment, les métaux non-ferreux ou certaines IAA.



**Figure 41 : Part de l'emploi des IGCE dans l'industrie manufacturière et nombre d'entreprises par secteur en 2007. Sources : Estimé à partir de (Eurostat, 2012a)**

## ii. Dépenses et investissements dans les IGCE

Afin d'analyser la structure des dépenses dans les IGCE, la répartition de celles-ci par rapport à la valeur de production<sup>16</sup> est présentée, dans la figure 42, pour l'énergie, la R&D, le personnel, les investissements corporels et les autres consommations intermédiaires. Les dépenses de personnel, les investissements corporels et le reste de l'excédent brut d'exploitation constituent la valeur ajoutée du secteur. Pour plus de précision, le détail des dépenses de personnel, de R&D et les investissements sont présentés séparément dans la figure 43.

Les secteurs des minéraux non-métalliques sont ceux avec la part de valeur ajoutée la plus importante dans la valeur de production (ex. produits céramiques, ciment, verre, etc.). En effet, les dépenses de personnels sont plus importantes dans ces secteurs parmi que dans les autres IGCE, supérieures à 22 % de la valeur de production. Ce sont également les secteurs avec la part la plus élevée des

<sup>16</sup> La valeur de production mesure la production de chaque secteur en se basant sur les ventes de celui-ci, et en incluant les changements de stock ainsi que les reventes de biens et de services. La valeur de production est définie comme le chiffre d'affaire annuel, plus ou moins les changements de stocks de produits finis et les encours, moins les achats de biens ou de services pour la revente (Eurostat, 2012).

dépenses énergétiques. A l'inverse, la métallurgie (métaux non-ferreux, première transformation de l'acier, sidérurgie) et les industries agro-alimentaires (corps gras, lait, grains) sont les secteurs avec la plus petite valeur ajoutée par rapport à la valeur de production. Ces secteurs dépensent beaucoup en consommation de produits intermédiaires et possèdent des dépenses de personnel assez faibles. Par exemple, dans l'industrie des métaux non-ferreux, les consommations intermédiaires constituent environ 86 % de la valeur des produits, dont 4 % pour l'énergie. Le coût de la main d'œuvre se limite à 8 %. Ces secteurs sont donc très dépendants des prix des biens intermédiaires et de l'énergie, mais moins des salaires.

Les IGCE représentent environ 40 % de l'investissement corporel dans l'industrie manufacturière alors qu'elles ne constituent que 36 % de la valeur ajoutée, en 2007 (OECD, 2011). Ces industries investissent donc plus que la moyenne de l'industrie. Par contre, ces investissements corporels représentent 4.6 % des investissements dans l'ensemble de l'économie dans l'Europe de l'Ouest, soit moins que la part des IGCE en valeur ajoutée à 5.9 %. Si les IGCE investissent plus que la moyenne dans l'industrie, le niveau d'investissement corporel reste inférieure à celui de l'économie en 2007. Les investissements corporels représentent en moyenne 5 % de la valeur de production dans les IGCE. Trois secteurs IGCE investissent une part plus importante de la valeur de production que les autres industries : les produits céramiques, la fabrication de tuiles et de briques ainsi que le ciment, tous des secteurs des minéraux non-métalliques. Cet écart avec les autres secteurs provient d'investissements importants dans les moyens de production mais aussi d'une valeur unitaire plus faible pour les produits de cette industrie.

Les dépenses de R&D de l'ensemble des IGCE constituent 17 % des dépenses de recherche industrielle, en Europe de l'Ouest, en 2007, et 12 % de celles de l'économie dans son ensemble (OECD, 2011). Les IGCE investissent donc très peu en R&D par rapport aux autres secteurs industriels comme l'aéronautique ou la pharmaceutique. Par contre, comme pour l'industrie en général, les IGCE investissent beaucoup plus en R&D que le reste de l'économie. Les industries chimiques de base et les produits céramiques (hors construction) constituent des cas à part, car ces secteurs investissent beaucoup plus en R&D que les autres IGCE, à un niveau équivalent à celui de l'industrie manufacturière en moyenne.

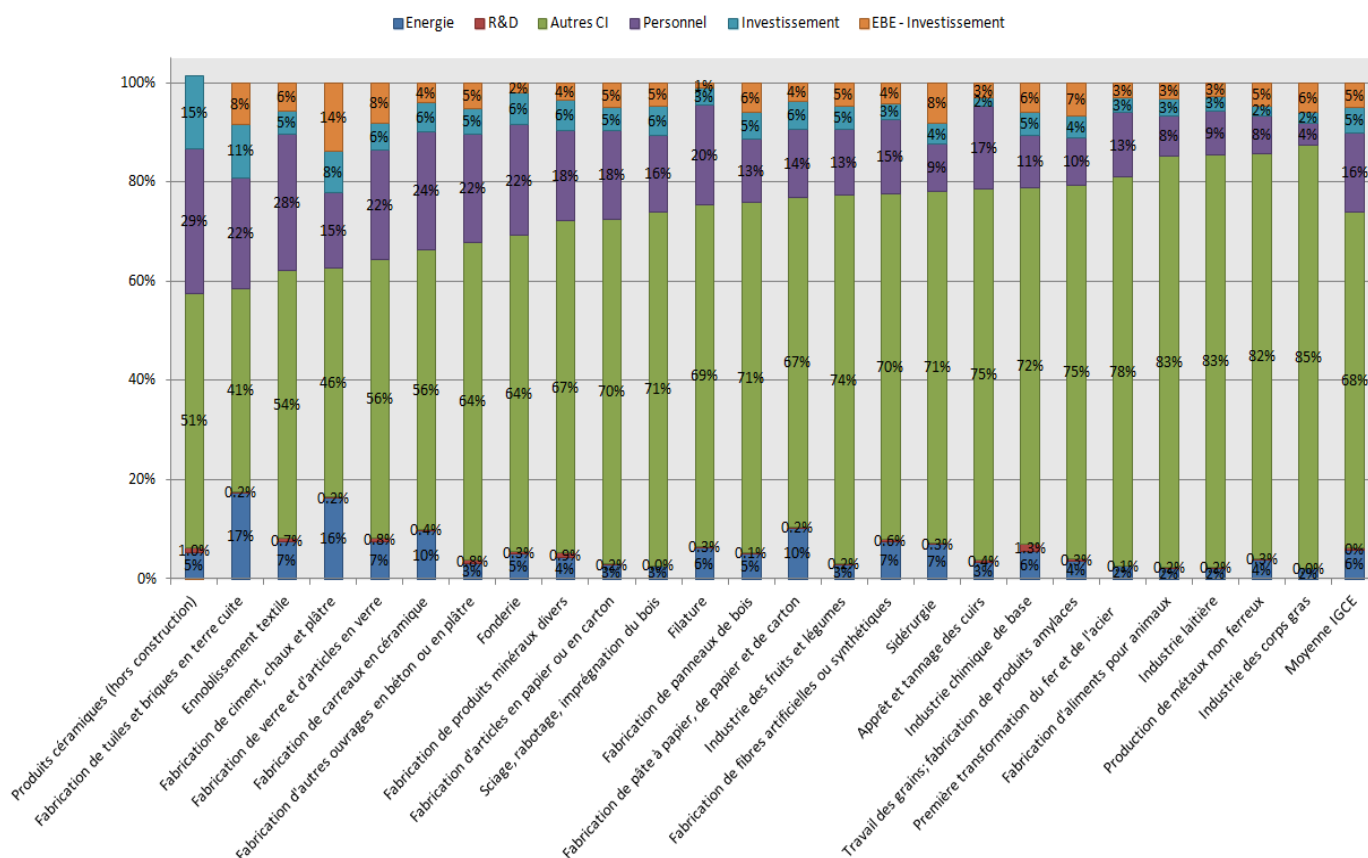


Figure 42 : Répartition de la valeur de la production dans les IGCE en 2007.

Sources : Estimé à partir de (Eurostat, 2012a)

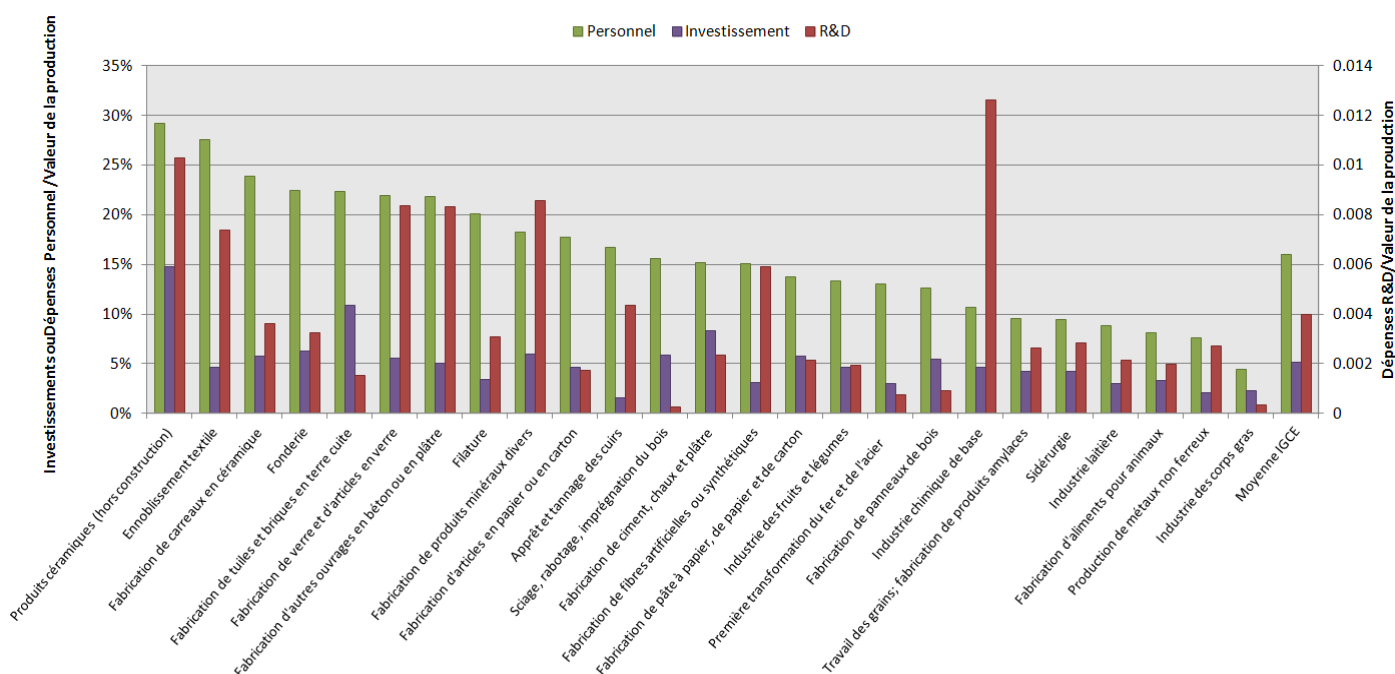


Figure 43 : Dépenses de personnel, de R&amp;D et investissement corporel dans les IGCE en

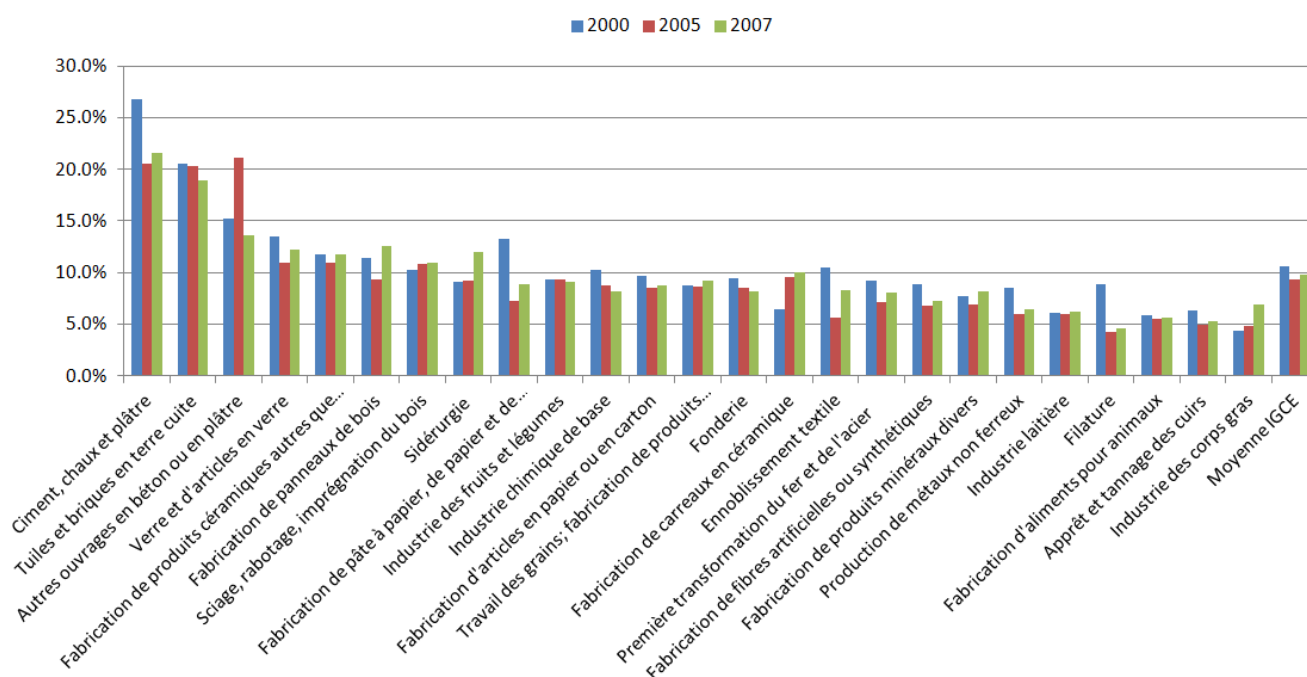
2007. Sources : Estimé à partir de (Eurostat, 2012a)



## iii. Performances des secteurs IGCE

Deux types d'indicateurs sont utilisés pour définir la performance économique des IGCE. Le premier est le taux de marge brute d'exploitation, défini comme le ratio de l'excédent brut d'exploitation sur le chiffre d'affaire. C'est un indicateur de la capacité bénéficiaire dégagée par l'exploitation, hors éléments financiers, fiscaux et d'autofinancement. Cet indicateur représente la capacité de l'entreprise à engendrer des ressources de trésorerie au niveau de son exploitation. En d'autres termes, pour un euro de chiffre d'affaire, ce taux décrit ce qu'il reste pour renouveler les investissements et payer les charges financières.

La figure 44 décrit l'évolution du taux de marge brute d'exploitation parmi les secteurs IGCE, entre 2000 et 2007. Les secteurs qui dégagent le plus de marge sont ceux des minéraux non-métalliques (ciment, tuiles et briques, verre, céramique), avec un excédent brut d'exploitation compris entre 10 % et 25 % du chiffre d'affaire. Dans la plupart des autres secteurs, l'excédent brut d'exploitation sur le chiffre d'affaire est d'environ 10 %. Quelques secteurs dégagent une marge brute deux fois plus faible, autour de 5 %, comme l'industrie laitière, les filatures, le tannage des cuirs ou l'industrie des corps gras. La tendance est à la hausse en 2007 pour l'ensemble des IGCE après une baisse significative entre 2000 et 2005. La baisse est par contre très forte dans les filatures, dans la fabrication de pâte à papier et de papier ainsi que dans les métaux non-ferreux.



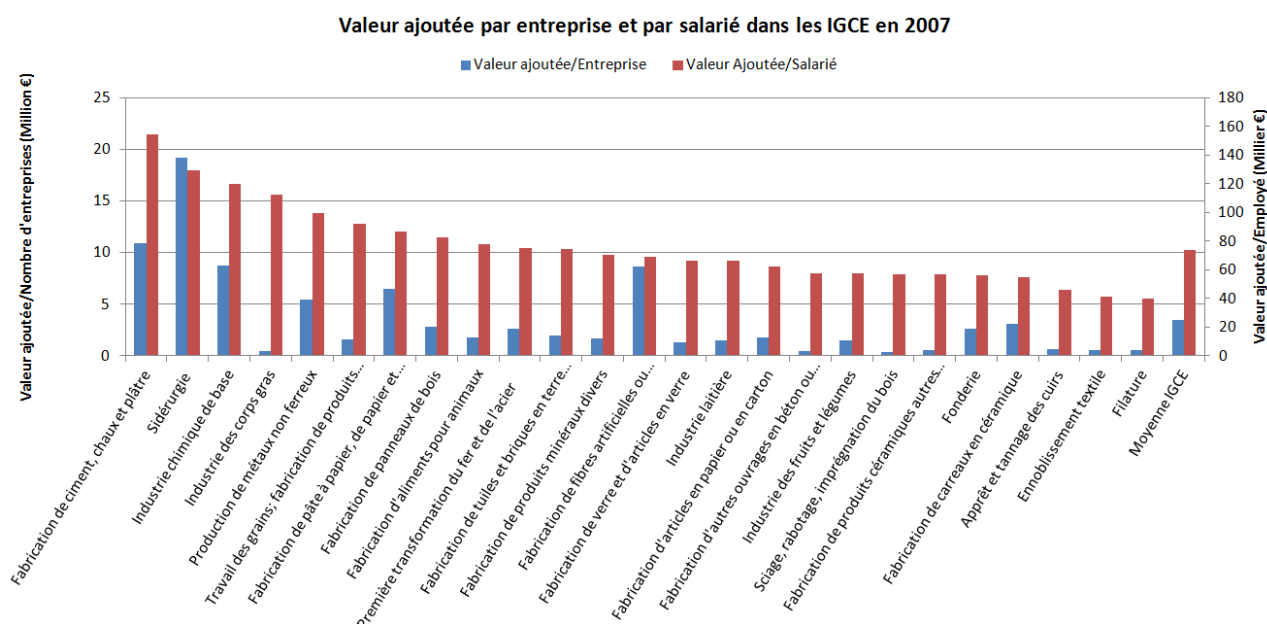
**Figure 44 : Taux de marge brute dans les IGCE dans l'industrie manufacturière, d'exploitation (Excédent brut d'exploitation/Chiffre d'affaire), en Allemagne, Belgique, Espagne, France, Italie et Royaume-Uni en 2000, 2005 et 2007.**  
Sources : Estimé à partir de (Eurostat, 2012a)

La valeur ajoutée par salarié distingue principalement la productivité apparente du travail dans les différents secteurs IGCE (Figure 45). Ce ratio est défini comme le rapport de la valeur ajoutée créée par un secteur sur le nombre de salariés. La moyenne dans les IGCE est de 76 k€/an par salarié, alors que la moyenne est d'environ 69 k€/an pour l'ensemble de l'économie et de 71 k€/an dans l'industrie



manufacturière (INSEE, 2012b). La productivité du travail est donc plus élevée dans les IGCE. Les secteurs avec la plus grande productivité apparente sont le ciment, la sidérurgie, la chimie de base, l'industrie des corps gras et les métaux non-ferreux. Dans ces secteurs, la valeur ajoutée est de plus de 130 k€/an par salarié. Par contre, les secteurs du textile et du cuir sont ceux avec le plus faible taux, soit moins de 50 k€/an par salarié, bien en-dessous de la moyenne nationale.

La valeur ajoutée par entreprise reflète le nombre d'employés par entreprise multiplié par la valeur ajoutée créée par chaque salarié. Les entreprises de la sidérurgie créent une valeur ajoutée d'environ 20 millions d'euros par an et par entreprise ; le secteur est très concentré autour de grandes entreprises. On retrouve ce constat, dans une moindre mesure, pour le ciment, les fibres artificielles, le papier, la chimie de base et les métaux non-ferreux avec plus de 5 millions d'euros par entreprise. La médiane pour toutes les IGCE est de 1.8 millions d'euros par an. La plupart des secteurs IGCE sont donc constitués d'entreprises de plus petite taille.



**Figure 45 : Valeur ajoutée par entreprise et par salarié dans les IGCE en Allemagne, Belgique, Espagne, Italie et Royaume-Uni en 2007.**  
Sources : Estimé à partir de (Eurostat, 2012a)

Il existe donc des contrastes importants dans la structure économiques des IGCE, à la fois dans leur importance économique, dans la structure de leurs dépenses et dans leurs performances. Il n'est donc pas possible de considérer les IGCE comme un ensemble économique.

On peut toutefois distinguer cinq grands secteurs possédant des caractéristiques économiques plus homogènes : la chimie de base, les produits minéraux non-métalliques, la sidérurgie, les métaux non-ferreux et le papier. Ces cinq secteurs ont des dépenses de l'énergie plus élevées par rapport à la valeur ajoutée (>20%) et à la valeur de production (>3%). Ce sont des secteurs plus importants dans l'industrie européenne avec des produits assez homogènes. Ils concentrent la plupart de la valeur ajoutée et des emplois des IGCE. Les industries agro-alimentaires constituent un ensemble important mais elles sont très diffuses avec de très nombreux produits sans point commun. Les industries du bois et du textile sont, quant à elles, moins significatives dans la valeur ajoutée et les emplois de l'industrie européenne. Les cinq secteurs sélectionnés sont des secteurs concentrés avec un nombre limité d'entreprises et de sites de production. Ainsi, la valeur ajoutée par entreprise ou par salarié est plus

élevée dans ces cinq IGCE. De plus, le taux de marge brute des entreprises est supérieur dans ces secteurs à 8 % (sauf dans les métaux non-ferreux), au contraire des industries du bois et du textile. Nous écartons donc les secteurs des IAA, des industries du bois, du textile et de la transformation des métaux de notre analyse des IGCE, pour se concentrer sur les cinq secteurs cités ci-dessus.

#### 1.2.2.2) LES INDUSTRIES IGCE SUR LE MARCHÉ MONDIAL

---

Les IGCE doivent faire face, comme l'ensemble de l'industrie manufacturière, à une rapide montée en puissance de l'industrie des pays émergents sur le marché international. Avant d'analyser le rôle de l'énergie sur la compétitivité des IGCE, cette section décrit la situation actuelle de ces industries sur le marché mondial en comparant les principaux pays industriels d'Europe de l'Ouest, aux Etats-Unis et au Japon, en 2007.

Les performances économiques des secteurs IGCE sur le marché mondial se reflètent d'abord dans les importations et les exportations. Les trois figures suivantes (46, 47 et 48) décrivent :

- La pénétration des importations sur le marché domestique
- La part des exportations dans la production nationale
- Le ratio des exportations sur les importations

Dans un premier temps, le secteur dont les produits sont les plus échangés au niveau international, est celui des métaux non-ferreux, composé de la production des métaux précieux, de la métallurgie de l'aluminium, du plomb, du zinc, de l'étain et du cuivre<sup>17</sup>. Le Royaume-Uni, l'Italie, la France et l'Allemagne importent plus de 60 % de leur consommation domestique de métaux non-ferreux, bien plus qu'au Japon (26 %). Ces même pays, à l'exception de l'Italie, exportent également une grande partie de leur production. Il existe donc un commerce intra-sectoriel important pour les produits des métaux non-ferreux. On retrouve, dans une moindre mesure, ce même constat pour les produits chimiques, hors pharmaceutique. Les importations de ces produits constituent plus 50 % de la consommation des pays d'Europe de l'Ouest, beaucoup moins pour les Etats-Unis et le Japon (20 %). Dans le même temps, une part importante de la production de produits chimiques est orientée vers l'exportation, 46 % en moyenne dans les sept pays étudiés.

A l'inverse, les produits minéraux non-métalliques sont très peu échangés sur le marché international. Seul 15 %, en moyenne, des produits de cette industrie sont importés pour la consommation domestique ou produits pour les exportations. Les produits papetiers et les métaux ferreux sont situés entre ces deux groupes, avec des échanges internationaux modérés, environ 25 % pour le papier et 36 % pour les métaux ferreux.

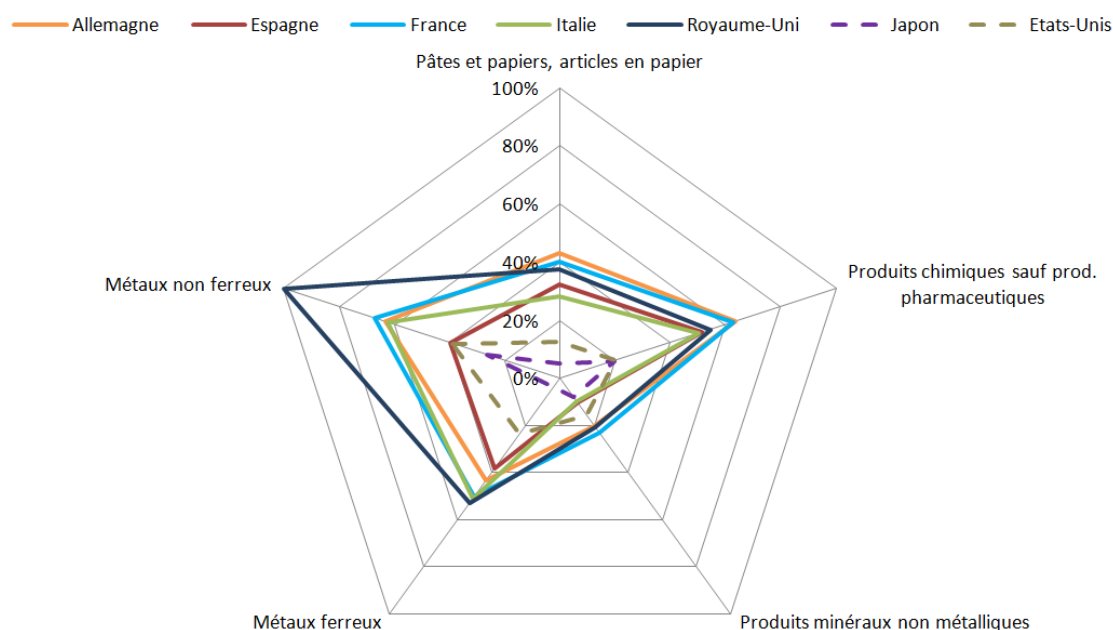
De manière générale, les échanges commerciaux de produits IGCE sont bien plus intenses en Europe de l'Ouest qu'aux Etats-Unis ou au Japon, du fait de l'intégration au marché commun européen. La part des importations de produits IGCE dans la consommation domestique ou de la production orientée vers les exportations, est en moyenne de 45 % dans les pays d'Europe de l'Ouest, contre 18 % aux Etats-Unis et au Japon.

Enfin, le ratio des exportations sur les importations permet de mettre en lumière les spécialisations industrielles des pays vers le marché international. Notamment, l'Allemagne exporte 30 % de produits papetiers en plus qu'elle n'en importe. A l'inverse, le Royaume-Uni importe trois fois plus de papier

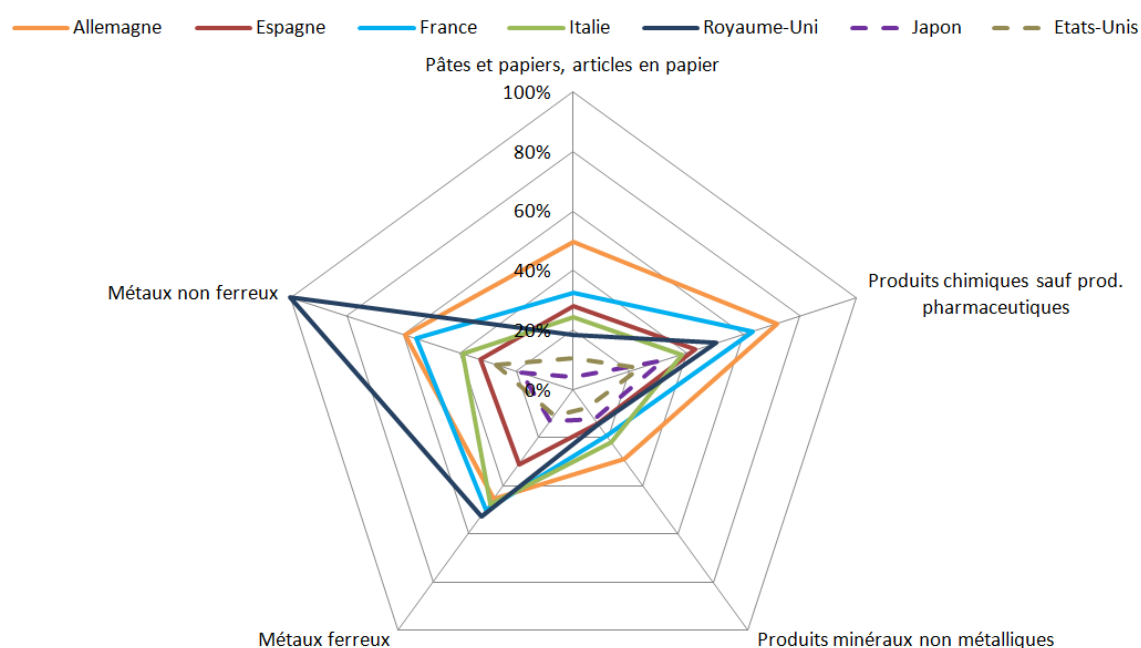
---

<sup>17</sup> Ce secteur ne comprend pas l'extraction minière de ces métaux.

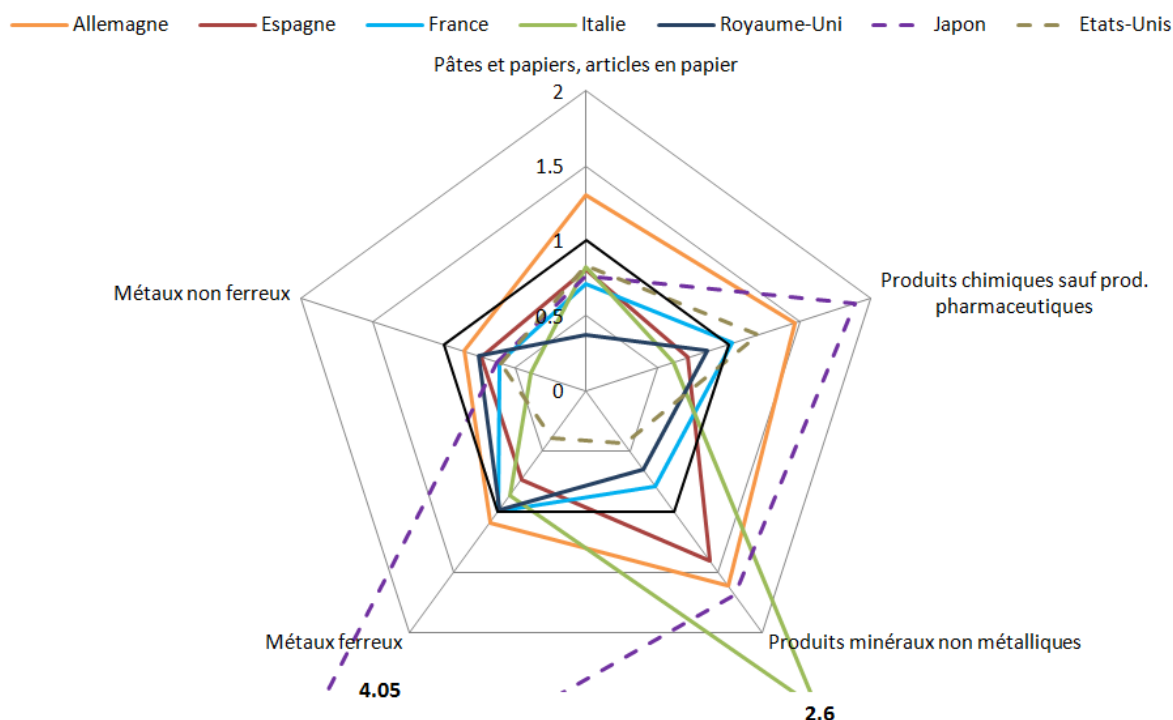
qu'il n'en exporte. Le Royaume-Uni possède, en effet, une balance commerciale négative dans tous les secteurs IGCE. La Japon est spécialisé dans les produits chimiques ainsi que dans les métaux ferreux, surtout en direction de la Chine et de la Corée du Sud. L'Italie exporte beaucoup de produits minéraux non-métalliques par rapport à ses importations, de même que l'Espagne. Enfin, la France et les Etats-Unis importent généralement plus de produits des IGCE qu'ils n'en exportent, mis à part pour les produits chimiques.



**Figure 46 : Pénétration des importations de produits IGCE dans les marchés domestiques d'Europe de l'Ouest, des Etats-Unis et du Japon, en 2007. Sources : Estimé à partir de (OECD, 2011)**



**Figure 47 : Part des exportations dans la production des IGCE en Europe de l'Ouest, aux Etats-Unis et au Japon, en 2007. Sources : Estimé à partir de (OECD, 2011)**

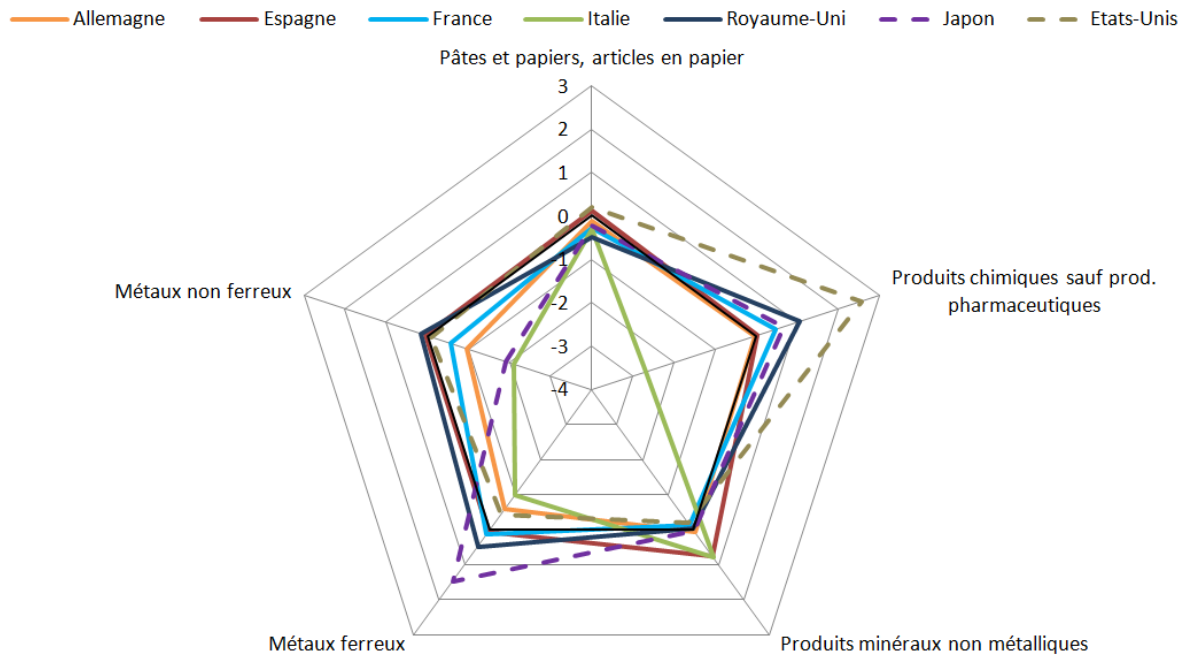


**Figure 48 : Ratio des exportations sur les importations de produits des IGCE en Europe de l'Ouest, aux Etats-Unis et au Japon, en 2007. Sources : Estimé à partir de (OECD, 2011)**

Un dernier indicateur, la contribution à la balance commerciale nationale, permet d'identifier les forces et faiblesses de la structure d'une économie à travers la composition de ses échanges internationaux. Cet indicateur prend en compte non seulement les exportations, mais aussi les importations et tente d'éliminer les variations conjoncturelles en comparant la balance commerciale d'une industrie avec la balance commerciale globale. Cet indicateur peut être interprété comme une mesure des « avantages comparatifs révélés ». Une valeur positive pour une industrie indique un excédent structurel et une valeur négative, un déficit structurel (OECD, 2011).

L'apport des IGCE à la balance commerciale nationale est très contrasté en Italie et aux Etats-Unis, mais sur des industries différentes. Les produits chimiques et le papier ont de meilleures performances que le reste de l'industrie manufacturière aux Etats-Unis, c'est-à-dire que ces secteurs augmentent la balance commerciale des Etats-Unis. Par contre, les minéraux non-métalliques et les métaux ferreux diminuent plus fortement la balance commerciale américaine que les autres secteurs. A l'inverse, en Italie, les produits minéraux non-métalliques augmentent la balance commerciale, alors que toutes les autres IGCE diminuent cette balance. L'Italie est ainsi le pays dont la balance commerciale est la plus pénalisée par le manque de compétitivité internationale des IGCE, alors qu'aux Etats-Unis, les IGCE sont, dans leur ensemble, plus compétitives que les autres industries manufacturières.

En France et en Espagne, le bilan des IGCE à l'international est dans la moyenne de celui de l'industrie manufacturière, à l'exception des produits minéraux non-métalliques en Espagne. Les IGCE ne constituent ni une faiblesse ni une force à l'international par rapport au reste de l'industrie dans ces deux pays. On peut faire le même constat pour le Japon si on considère l'ensemble des IGCE, mais cela masque une très forte compétitivité dans les métaux ferreux et, au contraire, une très faible compétitivité dans les métaux non-ferreux. Enfin, les IGCE sont généralement moins compétitives que les autres industries en Allemagne, surtout pour les métaux non-ferreux. A l'inverse, pour le Royaume-Uni, ces industries renforcent légèrement la compétitivité de son industrie, sauf pour le papier.



**Figure 49 : Contribution à la balance commerciale<sup>18</sup> nationale des secteurs IGCE en Europe de l'Ouest, aux Etats-Unis et au Japon, en 2007. Sources : Estimé à partir de (OECD, 2011).**

De manière générale, ces pays possèdent une compétitivité contrastée dans les IGCE, avec une spécialisation sur les marchés internationaux variant pour chaque pays. Ainsi, dans des pays dont les facteurs économiques sont proches (salaires, institutions, logistiques), il existe des situations compétitives très différentes parmi les IGCE. Même si ces IGCE ont des caractéristiques économiques communes : importance de l'investissement, faiblesse de la R&D, forte part des consommations intermédiaires dans la valeur de production, ces secteurs présentent des hétérogénéités significatives dans les performances à l'international (balance commerciale, part des échanges internationaux). Des facteurs nationaux de compétitivité, non liés au niveau de développement économique, déterminent donc ces écarts de performance. L'objectif de cette thèse est donc d'estimer les déterminants de ces différences compétitives et notamment le rôle de l'énergie.

<sup>18</sup> La contribution à la balance commerciale du secteur  $i$  est calculée comme suit, (OECD, 2011) :  
CBC = Contribution à la Balance Commerciale

Exp = Exportation

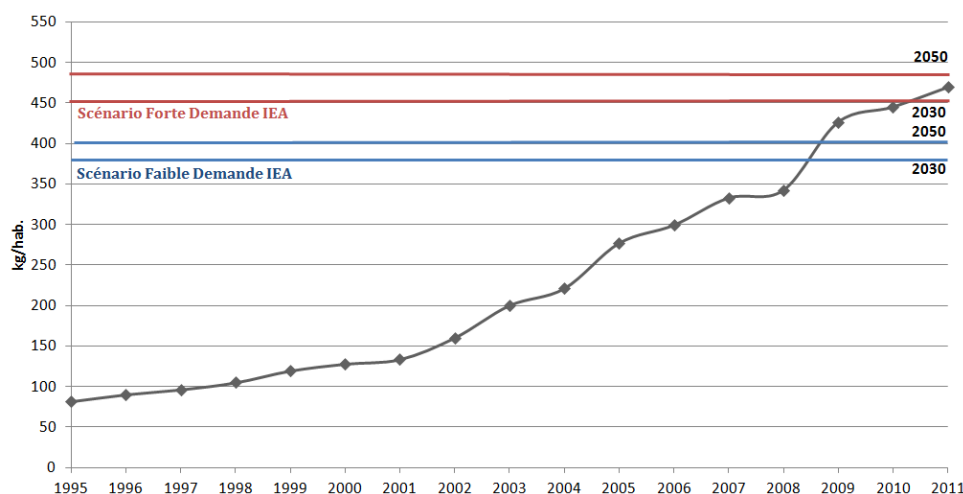
Imp = Importation

$$CBC_i = 100 * \left[ \frac{(Exp_i - Imp_i) - (Exp_{Industrie} - Imp_{Industrie}) * \frac{(Exp_i + Imp_i)}{(Exp_{Industrie} + Imp_{Industrie})}}{(Exp_{Industrie} + Imp_{Industrie})} \right]$$

### 1.2.3) ADAPTATION DES IGCE FACE AUX ENJEUX ENERGETIQUES ET CLIMATIQUES

L'industrie contribue fortement à la demande énergétique mondiale et à sa croissance, ainsi qu'aux émissions de CO<sub>2</sub>. Les cinq principales IGCE : sidérurgie, ciment, chimie, papier et aluminium, représentent environ 75 % des émissions de l'industrie (IEA, 2009c). Les contextes actuel et futur de tensions sur les marchés de l'énergie et de risque climatique, contraignent ces secteurs à s'adapter par une diminution de leur intensité énergétique et de leurs émissions de gaz à effet de serre. Cette adaptation semble d'autant plus urgente que la production des IGCE est en très forte croissance dans le monde, notamment dans les pays émergents. Il sera donc nécessaire de consommer moins d'énergie fossile et d'émettre moins de CO<sub>2</sub>, tout en produisant plus.

Un exemple intéressant est celui des prévisions de consommation des produits IGCE par les grandes institutions internationales. Notamment, l'Agence Internationale pour l'Energie (AIE) prévoit dans son rapport « Energy Technology Transitions for Industry » (2009), un scénario ambitieux pour l'industrie de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> de 20 % en 2050 par rapport à 2006. Deux tendances sont décrites pour prévoir l'évolution de la demande future en produits industriels, un scénario de faible demande et un de forte demande. Ainsi, dans la sidérurgie, la consommation d'acier par habitant de la Chine était de 293 kg/hab. en 2006. Une demande de 400 kg/hab. en 2050 est alors prévue en Chine dans le scénario de faible demande, et de 450 kg/hab. en 2030 dans le scénario de forte demande (Figure 50). Cependant, la Chine a déjà atteint un niveau de consommation d'environ 460 kg /hab. dès 2011, soit seulement deux ans après la publication de ces prévisions (WorldSteel Association, 2011; 2012). Le contraste est donc très significatif entre des scénarios ambitieux de baisse des émissions dans l'industrie et la réalité de la production mondiale. Il semble donc nécessaire de se placer, dès à présent, dans les scénarios les plus pessimistes par rapport aux émissions de CO<sub>2</sub>.



**Figure 50 : Evolution de la consommation par habitant d'acier brut en Chine par rapport aux prévisions de faible et haute consommation d'acier en 2030 et 2050 de l'AIE en 2009 (IEA, 2009c). Sources : Estimé à partir de (WorldSteel Association, 2011; 2012).**

### 1.2.3.1) EVOLUTION DE L'EFFICACITE ENERGETIQUE DANS LES IGCE

Cette section présente la réaction des IGCE en Europe de l'Ouest face à ces nouvelles contraintes, notamment par l'amélioration de l'efficacité énergétique et la réduction des émissions de CO<sub>2</sub>. Cela permet ainsi d'estimer si ces industries disposent des moyens nécessaires pour faire face aux nouvelles problématiques énergétiques et climatiques, ou si la tendance à l'amélioration est mineure. Les indicateurs utilisés se basent sur une industrie agrégée sur les sept principaux pays producteurs industriels en Europe de l'Ouest : Allemagne, Belgique, Espagne, France, Italie, Pays-Bas, Royaume-Uni.

L'industrie manufacturière, dans son ensemble, a significativement réduit son intensité énergétique depuis 1991 (Figure 51). Ainsi, l'intensité énergétique, c'est-à-dire le ratio de la consommation d'énergie sur la valeur ajoutée, a été réduit de 16 % en 18 ans, soit une baisse moyenne de 0.9 % par an. Si l'industrie manufacturière européenne poursuit sur cette tendance, elle peut alors s'approcher des objectifs du scénario « BLUE » de l'IEA, établi dans le but de réduire par deux les émissions totales de gaz à effet de serre dans le monde d'ici 2050, par rapport au niveau de 2006. En effet, dans ce scénario les émissions directes de l'industrie sont réduites de 21 % par rapport aux niveaux actuels. Pour cela, l'intensité énergétique doit alors diminuer de 1.3 % par an (IEA, 2009c).

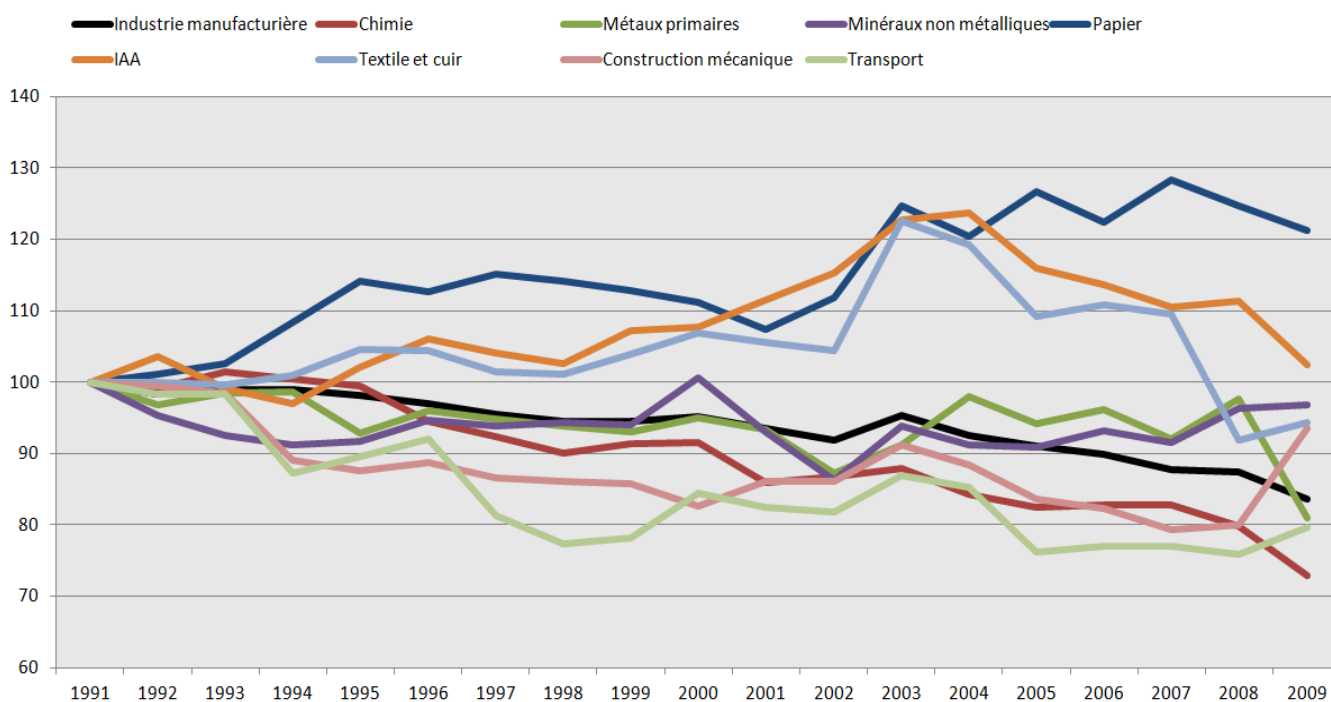
Néanmoins, cette baisse de l'intensité énergétique dépend beaucoup des secteurs industriels. Ainsi, les industries du transport, de la chimie, des métaux primaires sont celles qui ont réduit le plus leur intensité énergétique, de plus de 20 % depuis 1991. Les industries mécaniques, textiles, et des minéraux non-métalliques ont réduit leur intensité énergétique d'environ -5 % durant cette période. Par contre, les industries agro-alimentaires et du papier ont augmenté leur intensité énergétique depuis 1991. Ces deux secteurs sont actuellement sur une tendance à la hausse de leur intensité énergétique. Les restrictions liées à une politique environnementale seront donc d'autant plus contraignantes pour ces deux secteurs.

Il existe une importante variabilité des indices d'intensité énergétique pour un même secteur sur plusieurs années. En effet, les données d'intensité énergétique doivent être traitées avec précaution. Une amélioration de l'intensité énergétique n'implique par forcément qu'une industrie améliore son efficacité énergétique. Le changement d'intensité énergétique peut aussi provenir d'un changement de structure de l'industrie et d'une variation du prix moyen des biens produits (IEA, 2012).

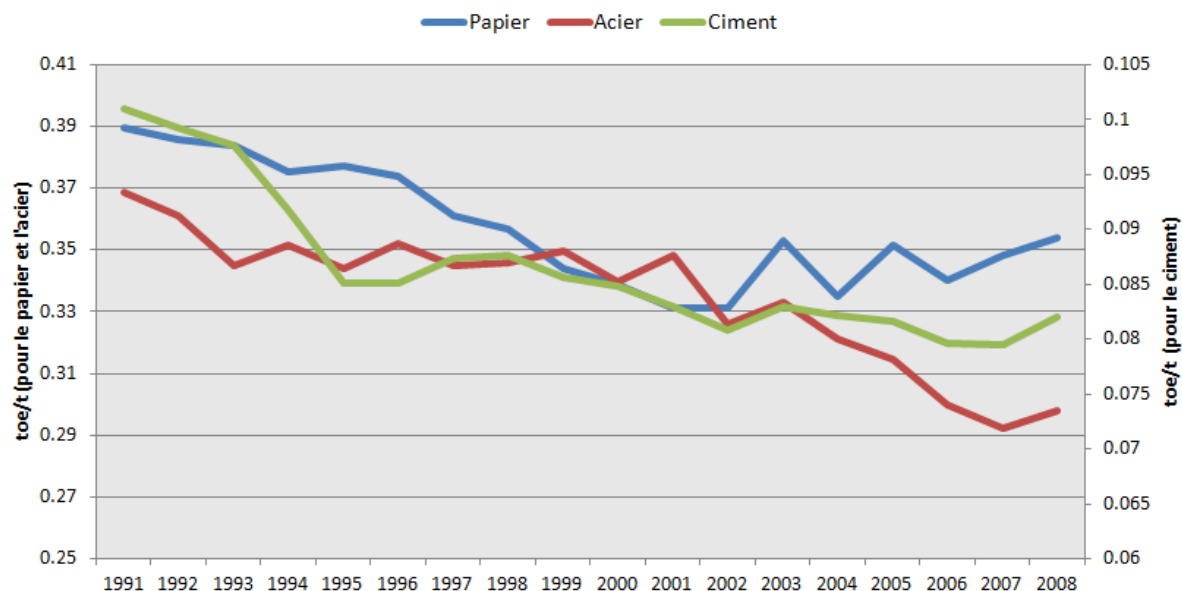
Pour cette raison, il peut être plus pertinent d'étudier l'évolution de la consommation spécifique dans les IGCE. Cependant, s'il est possible d'étudier la consommation par unité de production, par exemple pour une tonne, dans des industries dont les produits sont relativement homogènes, ce n'est pas le cas dans des industries avec des productions très diversifiées comme la chimie. La figure 52 présente l'évolution de cette consommation spécifique à partir d'une moyenne sur les sept pays d'Europe de l'Ouest. L'amélioration de l'efficacité énergétique apparaît alors plus clairement pour la production de papier, d'acier et du ciment. Notamment, alors que l'intensité énergétique a augmenté sur le même périmètre géographique entre 1991 et 2009, la consommation spécifique du papier a diminué d'environ 10 % durant la même période. La hausse de l'intensité énergétique est donc probablement liée à une baisse de la valeur ajoutée de l'industrie papetière par rapport à 1991. La baisse de la consommation spécifique a été à peu près similaire pour le ciment et l'acier, à environ -20 % soit une baisse moyenne d'environ -1.1 % par an. On observe donc une baisse régulière de la consommation d'énergie pour une même production dans ces IGCE, sauf en 2008 où la crise économique a provoqué



la diminution du taux d'utilisation des capacités de production et a donc réduit l'optimisation énergétique des usines.



**Figure 51 : Evolution de l'indice d'intensité énergétique des secteurs de l'industrie dans 7 pays d'Europe de l'Ouest. L'intensité énergétique est le ratio entre la consommation d'énergie et la valeur ajoutée d'un secteur (koe/\$2005ppa). Indice 100 : 1991. Sources : Estimé à partir de (Enerdata, 2012)**



**Figure 52 : Consommation spécifique moyenne d'énergie dans 7 pays d'Europe de l'Ouest. Sources : Estimé à partir de (Enerdata, 2012)**



### 1.2.3.2) INTENSITE EN CO<sub>2</sub> DES IGCE

---

Les émissions de CO<sub>2</sub> liées à la consommation d'énergie ne dépendent pas seulement de l'efficacité énergétique d'une industrie mais également du mix énergétique utilisé dans la production. La substitution d'une énergie par une autre, permet notamment de réduire l'intensité en CO<sub>2</sub> malgré une intensité énergétique constante. Par exemple, l'utilisation de gaz naturel à la place du charbon permet de diminuer significativement les émissions de CO<sub>2</sub>. De plus, les émissions indirectes de CO<sub>2</sub> liées à la production de l'électricité consommée, constituent environ un tiers des émissions de la production industrielle (IEA, 2009c).

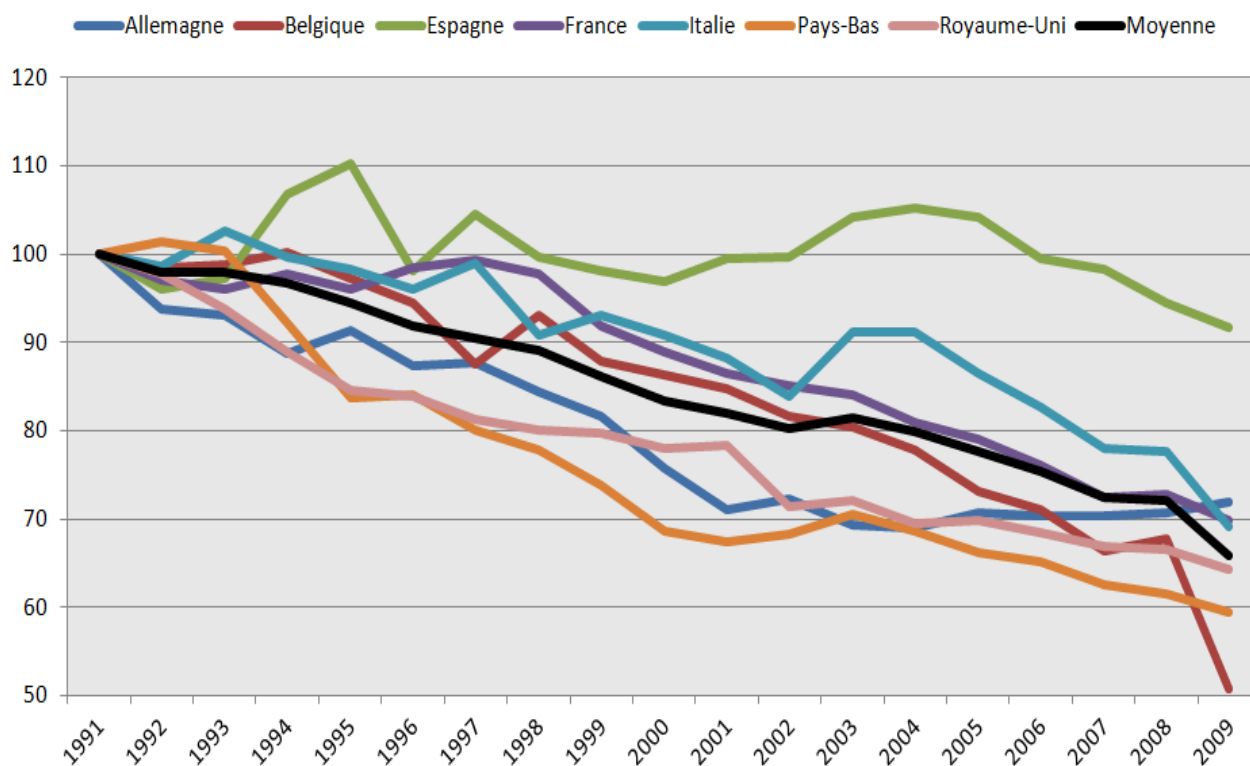
De manière générale, l'intensité<sup>19</sup> en CO<sub>2</sub> de l'industrie manufacturière a diminué de 34 % en moyenne en Europe de l'Ouest entre 1991 et 2009 (Figure 53), soit environ une diminution de 1.9 % par an. La baisse d'intensité en CO<sub>2</sub> est donc plus importante que celle de l'intensité énergétique. La substitution de la consommation de charbon et de pétrole par le gaz naturel et l'électricité<sup>20</sup> a donc réduit l'intensité en CO<sub>2</sub> de l'industrie, en plus de la baisse de l'intensité énergétique. La plupart des pays européens ont suivi cette tendance à la baisse, seule l'industrie espagnole n'a pas diminué autant son intensité en CO<sub>2</sub>. Cet écart avec les autres pays peut provenir de l'essor important du secteur de la construction en Espagne avant la crise de 2008 et d'une augmentation relative de la production des IGCE dans la production manufacturière (ex. produits minéraux non-métalliques).

La figure 54 décrit l'évolution de l'intensité en CO<sub>2</sub> pour le secteur de la chimie et des émissions par tonne produite dans l'acier, le papier et le ciment. La baisse de l'intensité en CO<sub>2</sub> a été très prononcée dans la chimie, où celle-ci a été réduite de 40 % en 18 ans. Pour les autres secteurs, la baisse des émissions de CO<sub>2</sub> par tonne a été à peu près équivalente, d'environ -23 % entre 1991 et 2009. Ce gain est similaire à celui de la baisse de la consommation spécifique d'énergie pour l'acier et le ciment, il n'y a donc pas eu de substitution entre les différentes formes d'énergie dans ces secteurs. Au contraire, il existe un écart important entre l'évolution de la consommation spécifique d'énergie dans le papier et la baisse des émissions de CO<sub>2</sub> par tonne. Cet écart provient essentiellement d'une substitution de la consommation de pétrole et de charbon par de la biomasse et de l'électricité dans l'industrie du papier.

---

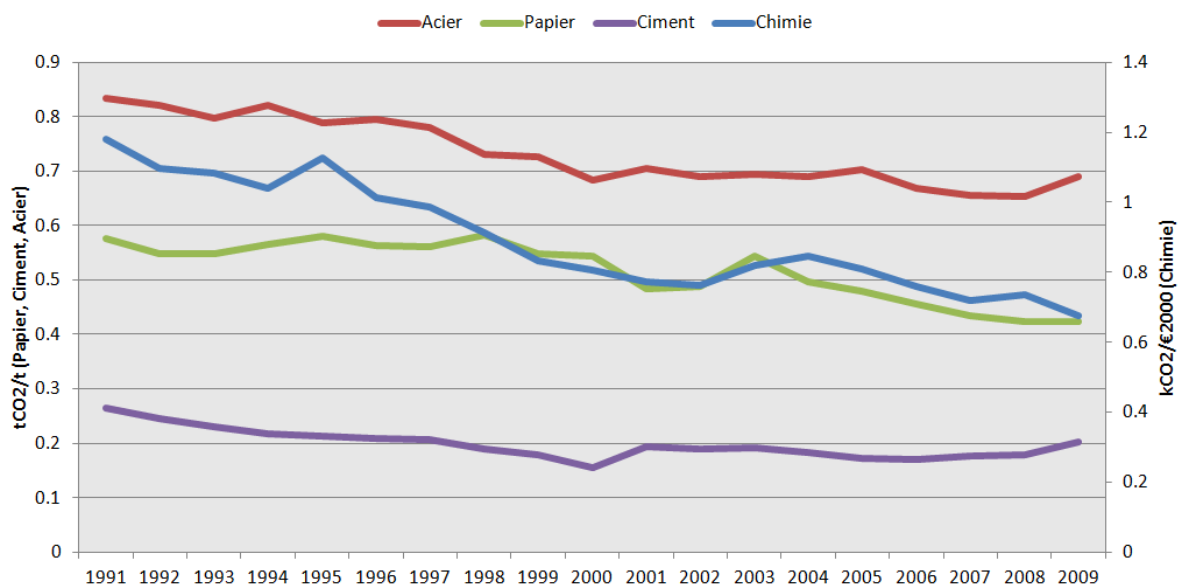
<sup>19</sup> Comme pour l'énergie, l'intensité en CO<sub>2</sub>, c'est-à-dire le ratio des émissions de CO<sub>2</sub> sur la valeur ajoutée, doit être considérée avec précaution, car cet indicateur ne dépend pas uniquement de la baisse des émissions. Néanmoins, pour certains secteurs, il n'est pas possible d'utiliser une unité physique homogène pour mesurer la production, ex. la chimie.

<sup>20</sup> Dans cette analyse, les émissions de CO<sub>2</sub> pour la production de l'électricité consommée ne sont pas prises en compte, ce qui avantage la consommation d'électricité du point de vue de l'intensité en CO<sub>2</sub> de la production industrielle.



**Figure 53 : Evolution de l'indice d'intensité en CO<sub>2</sub> de l'industrie manufacturière dans 6 pays d'Europe de l'Ouest entre 1991 et 2009. L'intensité en CO<sub>2</sub> est définie comme le ratio des émissions de CO<sub>2</sub> par la valeur ajoutée de l'industrie manufacturière. Les émissions indirectes liées à la production d'électricité ne sont pas prises en compte.**

Indice 100 : 1991. Sources : Estimé à partir de (Enerdata, 2012)



**Figure 54 : Intensité en CO<sub>2</sub> pour l'industrie de la chimie et émissions de CO<sub>2</sub> par tonne physique de papier, de ciment et d'acier pour l'industrie agrégée de 7 pays d'Europe de l'Ouest : Allemagne, Belgique, Espagne, France, Italie, Pays-Bas, Royaume-Uni.**

Sources : Estimé à partir de (Enerdata, 2012)

### 1.2.3.3) PREVISION DES ADAPTATIONS FUTURES

Dans son scénario « BLUE », l'AIE (2009) propose un programme de réduction des émissions de gaz à effet de serre pour l'industrie afin de limiter le réchauffement climatique à 2° ou 3°C d'ici 2050. La réalisation de ce scénario implique une réduction des émissions liées à la consommation d'énergie de 50 % pour toute l'économie et de 20 % des émissions directes de l'industrie mondiale. Ce rapport est optimiste dans le sens où il prévoit une production décarbonée de l'électricité en 2050 et une demande industrielle avec une croissance modérée.

Dans ce programme, une estimation des coûts potentiels de réduction des émissions dans l'industrie, est réalisée à partir d'une courbe d'abattement incluant les technologies futures (Tableau 1). L'effort le plus important de réduction des émissions semble pouvoir être réalisé dans la sidérurgie, le papier et la chimie, avec une réduction des émissions de plus de 50 % par rapport au scénario tendanciel (IEA, 2009c). L'aluminium dispose de plus de flexibilité car ses émissions directes de CO<sub>2</sub> sont limitées et car la production d'électricité est entièrement décarbonée dans le scénario. La hausse des investissements nécessaires semble modérée dans la plupart des IGCE, aux alentours de +10 % à +15 % par rapport aux investissements prévus sans contrainte environnementale. Seul le secteur du ciment devra effectuer des investissements environ 65 % supérieurs à ceux prévus afin d'atteindre les objectifs de réduction des émissions. Ce secteur risque donc d'être beaucoup plus contraint par une politique environnementale ambitieuse que les autres IGCE.

Néanmoins, ces estimations reposent sur une électricité décarbonée, hypothèse très optimiste et qui réduit fortement l'effort nécessaire pour les industries du papier, de l'aluminium et de la sidérurgie. De plus, le problème est que ces investissements possèdent généralement une très longue durée de vie dans les IGCE. Un choix d'investissement aujourd'hui a de fortes chances d'avoir toujours un impact dans 20 à 40 ans sur la consommation d'énergie et sur les émissions de CO<sub>2</sub>. Le retard pris sur l'investissement dans l'efficacité énergétique implique donc une augmentation importante des coûts futurs nécessaires pour atteindre l'objectif de limitation du réchauffement climatique.

Secteurs/Référence	Emissions de 2006	Emissions tendancielle en 2050	Investissements supplémentaires (Milliards \$2006)	% investissements par rapport aux besoins tendanciels
Sidérurgie	-38 %	-67 %	300-400	16 %
Ciment	-18 %	-45 %	440-670	64 %
Chimie/Pétrochimie	-4 %	-58 %	400-500	10 %
Papier	-46 %	-77 %	120-140	10 %
Aluminium	+121 %	-32 %	60-90	10 %
Total	-21 %	-56 %	2000-2500	16 %

**Tableau 1 : Réduction des émissions directes de gaz à effet de serre nécessaires en 2050 pour répondre à l'objectif de limitation du réchauffement climatique en 2050 à moindres coûts pour l'industrie, par rapports aux émissions de 2006 et à celles prévue pour 2050 sans action environnementale. Estimation des investissements nécessaires supplémentaires pour atteindre ces baisses d'émissions. Sources : (IEA, 2009c)**

Pour atteindre ces objectifs, l'AIE compte sur plusieurs mécanismes de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> : l'augmentation du recyclage des matières (9 %), l'amélioration de l'efficacité énergétique notamment par la diffusion des technologies actuelles les plus efficaces (« Best Available Technology », 40 %), par la substitution des énergies fossiles avec un contenu élevé en CO<sub>2</sub> vers d'autres formes d'énergie (21 %) et par l'introduction des technologies de capture et de stockage du carbone (CCS) dans l'industrie manufacturière (30 %). D'autres technologies peuvent également intervenir, selon leur état d'avancement, comme les membranes en chimie ou la gazéification de la liqueur noire dans l'industrie papetière (IEA, 2009c).

En conclusion, l'industrie manufacturière a régulièrement réduit, depuis 20 ans, son intensité énergétique et son intensité en CO<sub>2</sub>. Dans ce sens, l'industrie semble capable de s'adapter aux nouvelles contraintes énergétiques et environnementales si elle poursuit ces efforts. Ces dernières années, l'industrie a ainsi été le leader de la performance énergétique en Europe par rapport à d'autres secteurs comme le résidentiel ou le tertiaire (Global Chance, 2009; Seck, 2012).

La question actuelle est de savoir si l'industrie est encore capable de poursuivre l'amélioration de son efficacité énergétique sur un rythme similaire. Notamment, les gains potentiels prévus par les scénarios l'AIE, reposent sur une réduction quasi-totale des émissions de la production d'électricité et sur le développement rapide des technologies de capture et de stockage du carbone. Or, aucune de ces deux évolutions ne semblent se confirmer pour le moment. De plus, le niveau de demande des produits industriels augmente bien plus qu'initialement prévu, ce qui induit des contraintes de réduction des émissions encore plus fortes que celles estimées dans les scénarios. Ce n'est donc pas seulement une poursuite des gains d'efficacité énergétique qui est nécessaire pour les IGCE, mais une accélération de ceux-ci tout en évitant les problèmes de fuites de carbone liés à l'asymétrie des politiques environnementales. Or, le contexte de crise économique et de non-coopération au niveau internationale sur une politique climatique, peuvent freiner les investissements des industriels dans l'efficacité énergétique. L'industrie semble ainsi potentiellement capable de s'adapter aux défis énergétiques et climatiques, mais plus la valorisation de ces efforts sera tardive, plus la contrainte deviendra importante pour les IGCE.

#### 1.2.4) CONCLUSION SUR LA PLACE DE L'ENERGIE DANS L'INDUSTRIE

La consommation d'énergie dépend beaucoup de l'évolution de l'industrie manufacturière, notamment dans les pays émergents. Une part importante de la croissance actuelle de la demande en énergie provient de la hausse de production industrielle dans le monde. Par exemple, l'industrie manufacturière chinoise constitue 11 % de la demande mondiale en énergie. Par contre, la consommation d'énergie de l'industrie stagne dans les pays développés. En Europe, la consommation d'énergie dans l'industrie manufacturière est très contrastée selon les pays, le type d'énergie utilisé et selon les secteurs consommateurs. Cette consommation industrielle dépend alors de la spécialisation productive de chaque pays et de l'intensité énergétique dans chaque secteur. Inversement, l'énergie constitue une part importante des coûts de production dans, à peu près, un quart des industries. Pour ces industries, les achats de produits énergétiques représentent plus de 3 % de la valeur de production et plus de 10 % de la valeur ajoutée en Europe. Ces secteurs peuvent alors être identifiés comme des industries grandes consommatrices d'énergie (IGCE).

Néanmoins, ces IGCE ne constituent par pour autant un groupe économique homogène. L'analyse de la taille et donc de l'importance économique, de la structure des dépenses et des performances économiques démontre une forte disparité des secteurs entre eux. On ne peut donc pas analyser la compétitivité de ces secteurs comme pour un ensemble uniforme. Il est cependant possible de regrouper des IGCE moins hétérogènes dans leur structure économique : la chimie de base, la sidérurgie, les produits minéraux non-métalliques, le papier et les métaux non-ferreux. Les industries du textile, du cuir, du bois et agro-alimentaires semblent à part d'un point de vue économique. La caractérisation des performances économiques sur les marchés internationaux de ces cinq IGCE dans les principaux pays de l'OCDE, permet de mettre en évidence des situations compétitives très différentes. Ainsi, pour des pays avec des caractéristiques économiques proches, il existe des écarts de performances significatifs. Cela présume donc de déterminants de la compétitivité propres à chaque pays et non liés uniquement à leur niveau de développement économique. L'objectif de cette thèse est donc d'estimer les déterminants de ces différences dans la compétitivité à l'international des IGCE et notamment le rôle de l'énergie.

Enfin, l'industrie manufacturière a été le leader de la performance énergétique en Europe par rapport à d'autres secteurs économiques. Son intensité énergétique a diminué d'environ 1.1 % par an en moyenne dans les pays d'Europe de l'Ouest et son intensité en CO<sub>2</sub> de 1.9 % par an. L'industrie semble donc capable de s'adapter aux nouvelles contraintes énergétiques et environnementales. Pourtant la question actuelle est de savoir si cette amélioration va pouvoir se poursuivre à un rythme accéléré dans les années à venir afin de répondre aux objectifs d'une politique de limitation du réchauffement climatique à 2°C ou 3°C, ou si la plupart du potentiel d'efficacité énergétique a déjà été exploité dans les IGCE. Cette problématique est directement liée à celle des investissements supplémentaires nécessaires à venir pour chaque secteur industriel. Il est alors possible d'identifier les risques de perte de compétitivité pour les IGCE, liés à la mise en place d'une politique environnementale contraignante mais asymétrique au niveau international.

### **1.3) LA NOTION DE COMPETITIVITE DANS L'INDUSTRIE**

#### **1.3.1) UNE NECESSAIRE QUALIFICATION DU CONCEPT DE COMPETITIVITE**

La compétitivité est un concept large dont la définition est multiple. Il est donc d'abord essentiel de définir à quel niveau est étudiée la compétitivité : au niveau de la nation, d'une industrie ou d'une entreprise (Baron, 1997). La notion peut également être précisée dans un cadre soit domestique, soit international. Cependant, la notion de compétitivité nationale ou industrielle repose souvent sur des données agrégées et ne donne qu'une appréciation limitée de la réalité. La compétitivité d'une entreprise est plus précise et plus significative (Reinaud, 2005).

##### **1.3.1.1) COMPETITIVITE D'UNE ENTREPRISE**

Au niveau d'une entreprise, la compétitivité est la capacité d'une firme à maintenir ou à augmenter ses parts de marché et/ou sa profitabilité. L'ajustement entre parts de marché et profitabilité est assujéti à la stratégie de l'entreprise, ces deux indices étant liés. La compétitivité d'une entreprise est donc sa capacité à réaliser des performances supérieures à la moyenne, c'est un concept relatif. Cette compétitivité repose à la fois sur une compétitivité-prix, la capacité à proposer des produits moins chers que ceux des concurrents (prix des entrants, de la main-d'œuvre, productivité, ...) et sur une compétitivité hors-prix, avec des déterminants comme la qualité, l'innovation et les services attachés au produit, etc. La compétitivité hors-prix consiste à différencier le produit et à le rendre moins substituable (Debonneuil & Fontagné, 2003; Demailly, 2007; Reinaud, 2005).

La compétitivité est relative au marché analysé : local, national, régional ou international. Un acteur local peut être compétitif vis-à-vis de ses concurrents nationaux mais en retard par rapport à la concurrence internationale. Cependant, le marché national peut-être protégé de la concurrence internationale et donc, dans ce cas, seule la compétitivité domestique importe. Par exemple, les secteurs de l'électricité ou du ciment sont protégés sur le marché domestique, la concurrence se situe principalement au niveau local. Au contraire, le secteur de l'aluminium s'intègre dans un marché mondial, les prix étant fixés par une bourse internationale. Dans ce cas, la compétitivité internationale est la plus significative. Le marché auquel doit être comparée la compétitivité dépend donc de l'ouverture internationale du secteur.

Les entreprises sont de plus en plus globalisées, surtout dans les IGCE. Le concept de marché domestique est donc moins pertinent pour la compétitivité d'une firme dont les établissements sont situés dans différent pays. Une entreprise multinationale cherche ainsi à se localiser dans différents pays soit pour optimiser sa chaîne de valeur soit pour accéder à de nouveaux marchés. Un nouveau niveau de compétitivité peut alors apparaître : celui de l'établissement. Un établissement, par exemple un site de production, peut se retrouver en concurrence avec d'autres établissements dans une même multinationale. Si celui-ci est moins efficace que les autres sites du groupe pour un même produit, même en étant encore profitable, il risque de ne plus recevoir d'investissements ou sa production peut être délocalisée sur d'autres sites.

Il est également possible d'analyser la compétitivité d'une entreprise sur différents niveaux d'agrégation du marché. L'offre des entreprises étant de plus en plus diversifiée, la compétitivité peut aussi être analysée pour un produit spécifique, pour une gamme de produits ou plus largement pour l'ensemble d'un domaine d'activité (Mucchielli, 2002).

### 1.3.1.2) COMPETITIVITE NATIONALE

---

La notion de compétitivité nationale est ambiguë et souvent débattue. Cette définition peut mêler des aspects politiques et parfois idéologiques comme le protectionnisme économique. Elle peut être définie de manière similaire à celle d'une entreprise. Ainsi, pour l'ancien président Clinton, chaque nation « *est comme une grande firme en concurrence sur le marché mondial* ». De même, « *la compétitivité représente la capacité d'une nation, dans le contexte d'un marché libre et équitable, à fabriquer des biens et des services répondant aux exigences des marchés internationaux, tout en maintenant ou en augmentant le revenu réel de ses citoyens* » (U.S. Congress, 1985). La seconde définition ajoute aux performances commerciales, la notion de bien-être (Mucchielli, 2002; Krugman, 1994).

Toutefois, les économistes préfèrent éviter la notion de compétitivité nationale en s'appuyant sur le fait que l'accroissement du niveau de vie d'une nation est principalement lié à l'augmentation de la productivité sur le marché domestique et non à une concurrence entre pays. En outre, les échanges entre nations ne constituent pas un jeu à somme nulle, l'amélioration du niveau de vie d'un pays tend aussi à améliorer les possibilités d'exportation pour les autres pays (Debonneuil & Fontagné, 2003; Krugman, 1994).

La définition de compétitivité nationale peut alors être élargie comme « *la capacité à atteindre une progression soutenue des revenus réels et des conditions de vie dans les régions ou les États, produisant des postes de travail pour tous les demandeurs d'emploi* » (Commission des communautés européennes, 2002, p.4). Cette définition regroupe finalement de nombreuses notions différentes et la compétitivité semble ainsi devenir plus un outil, un « *discours sur les moyens* », qu'un objectif à atteindre. L'amélioration du niveau de vie semble désormais plus significative que la capacité à produire et à vendre sur les marchés étrangers (Debonneuil & Fontagné, 2003, p.12).

La compétitivité nationale peut être envisagée comme un concept relatif ou absolu. Une vision relative consiste à classer la compétitivité d'une nation par rapport à d'autres, souvent par l'intermédiaire d'indicateurs composites (par exemple The Global Competitiveness Index, (Schwab, 2009)). De ces comparaisons résultent souvent des suggestions de politiques correctrices afin de rattraper le retard sur certains points faibles. Néanmoins, cette vision relative de la compétitivité des nations peut mener à des politiques non coopératives, à un « dilemme du prisonnier » entre nations. Une vision absolue de la compétitivité d'une nation considère celle-ci comme l'ensemble des conditions propices à la croissance. Il n'y a donc pas une compétition internationale mais une recherche des meilleures politiques d'aide à la croissance économique, notamment par la coopération ou l'intégration régionale (Debonneuil & Fontagné, 2003). La compétitivité d'un territoire peut également s'envisager comme l'attractivité de celui-ci pour les activités et les investissements (Mucchielli, 2002).

### 1.3.1.3) COMPETITIVITE D'UNE INDUSTRIE NATIONALE

---

Pour un secteur industriel national, on agrège les données des entreprises localisées dans le pays produisant un bien similaire. La compétitivité d'une industrie nationale est donc la capacité à maintenir ou à augmenter les parts de marché de l'industrie nationale, à la fois sur le marché domestique et sur les marchés extérieurs (export), ainsi que la rentabilité de cette industrie nationale, c'est-à-dire la marge de profit réalisée par les entreprises sur le territoire. Les parts de marchés nationales ainsi que leur évolution sont souvent être étudiées par l'intermédiaire des flux d'échanges



entre pays. Afin d'analyser la perte de compétitivité d'une industrie nationale, il est courant de faire la distinction entre deux effets. A court terme, cela se traduit par une perte des parts de marché aux profits des pays plus compétitifs (augmentation des importations et baisse des exportations). A long terme, cela implique une délocalisation de l'industrie dans les localisations plus attractives.

Cependant, une industrie produit souvent des biens hétérogènes avec des procédés différents et pour différents segments de marché. Cette hétérogénéité peut amener à des différences de compétitivité des entreprises au sein d'un même secteur industriel. Ainsi, une entreprise d'un secteur intensif en énergie ayant un procédé de fabrication économe en énergie (par exemple les fours électriques en sidérurgie), sera bien plus apte à s'adapter à une taxe sur le CO<sub>2</sub> que les autres entreprises du secteur (hauts-fourneaux). La notion de compétitivité industrielle nécessite donc une délimitation précise de l'industrie étudiée (Baron, 1997; Reinaud, 2005). De plus, la compétitivité d'une industrie nationale n'est pas dépendante des actions d'une entité nationale, mais des multiples stratégies des entreprises composant cette industrie. La rationalité des acteurs individuels, décisions d'investissements par exemple, établit le comportement de l'industrie nationale.

D'autre part, une compétitivité au niveau industriel se distingue d'une compétitivité au niveau d'une entreprise. La compétitivité industrielle dépend de la localisation des établissements sur le territoire alors entreprise peut être multinationale ou peut se délocaliser. Par exemple, à long terme une industrie localisée en France ayant une faible marge de profit va avoir tendance à délocaliser sa production. Cela mène donc à une perte de parts de marché et donc de compétitivité pour une vision nationale de la compétitivité, mais c'est un ajustement pour une entreprise pouvant ainsi au contraire améliorer sa compétitivité (Demailly, 2007).

Il est également possible pour une industrie proposant un type spécifique de produits d'être en compétition avec d'autres secteurs offrant des substituts à ce produit. Une compétitivité élevée sur le marché internationale ne protège pas toujours de la substitution par d'autres produits du fait d'une augmentation des prix ou d'un manque d'innovation. Par exemple, une hausse importante des prix du verre peut entraîner son remplacement par du plastique pour la fabrication des bouteilles. Une hausse des prix de l'acier peut également favoriser son remplacement dans la production de voiture par de l'aluminium, mais des innovations dans les nouveaux alliages de l'acier auraient l'effet inverse. La compétitivité d'une industrie doit ainsi également être comparée vis-à-vis des industries de substitutions.

#### **1.3.1.4) MESURES DE LA COMPETITIVITE INDUSTRIELLE**

---

Comme la définition de la compétitivité est large, il n'existe pas d'indicateur commun de la compétitivité que ce soit pour les entreprises, pour les nations ou au niveau sectoriel. Le choix d'un indicateur quantitatif est toujours arbitraire dans le sens où cela restreint forcément la notion de compétitivité, négligeant ainsi certains aspects de celle-ci. Il n'existe pas de définition définitive de la compétitivité, ni d'indicateur global. Une solution consiste alors à étudier divers aspects de cette compétitivité au travers de différents indicateurs. La compétitivité devient alors une notion englobant différents mécanismes économiques plus précis.

De nombreux indicateurs de la compétitivité existent selon l'aspect de la compétitivité étudié. Notamment, les parts de marché constituent un indicateur utilisé à la fois pour la compétitivité des entreprises, des nations et des industries nationales (Mucchielli, 2002). Pour les entreprises, les parts



de marché peuvent être définies sur le marché national et à l'international. Pour les nations, cet indicateur est souvent construit à partir des exportations nationales par rapport à la somme des exportations mondiales (Mathis et al., 1988; Traill & Da Silva, 1996).

Cependant, pour une entreprise, la compétitivité ne se limite pas uniquement aux parts de marché mais comprend aussi sa rentabilité et à sa productivité. D'autres ratios ou indicateurs sont alors utilisés tels que le taux de profit (excédent brut global/capital engagé), la productivité apparente du travail (valeur ajoutée/effectifs salariés), le taux de marge (excédent brut d'exploitation/valeur ajoutée), le taux d'autofinancement ou le taux d'endettement (Mucchielli, 2002).

Le PNB par habitant<sup>21</sup>, ou le revenu par habitant, est souvent utilisé comme un indicateur synthétique de la compétitivité d'une nation. Cet indicateur reste très lié à la productivité d'un pays. Cependant, il est peu précis et ne permet pas de distinguer la situation dans des pays relativement proches économiquement (Debonneuil & Fontagné, 2003). Il existe également divers indicateurs composites de la compétitivité des pays, développés pour classer de nombreux pays entre eux comme dans le « Global Competitiveness Report » du World Economic Forum (Schwab, 2009). Ces indicateurs composites regroupent de nombreuses variables quantitatives et qualitatives dans le but de décrire tous les aspects de la compétitivité. Cependant, si ces indicateurs sont pertinents, le regroupement de ceux-ci pour établir un classement repose sur une pondération souvent arbitraire (Mucchielli, 2002).

Pour cette étude, ce sont surtout les indicateurs de la compétitivité d'une industrie nationale qui sont pertinents. Il existe trois grandes familles d'indicateurs pour décrire les performances d'un secteur. Dans un premier temps, des indicateurs de la croissance industrielle sont utilisés pour analyser l'évolution temporelle d'un secteur comme la valeur ajoutée, la production physique ou l'emploi (Mathis et al., 1988). Il est alors important d'utiliser des valeurs en volume afin de corriger des mouvements brutaux des taux de change et de l'inflation.

Ensuite, il existe des indicateurs de la spécialisation industrielle des pays. Si un pays est spécialisé dans un secteur, cela signifie que ce secteur possède un avantage compétitif. Ces indicateurs se basent sur la théorie de Heckscher-Ohlin sur le commerce international. Celle-ci attribue des avantages comparatifs pour les secteurs dont les facteurs de production sont relativement abondants dans un pays (main d'œuvre, capital, matières premières, technologie). Cependant, ces avantages comparatifs sont difficiles à mesurer. L'indicateur le plus connu, celui des avantages comparatifs révélés, est alors basé sur l'hypothèse que la structure des échanges commerciaux « révèle » ces avantages comparatifs (Balassa, 1965). Il existe différentes formes de cet indicateur, mais il est souvent défini de la manière suivante :

$$ACR = \frac{X_{ij}/X_{it}}{\bar{X}_{nj}/\bar{X}_{nt}} \quad (1)$$

Où  $ACR$  est la mesure de l'avantage comparatif révélé pour un secteur  $j$  dans un pays  $i$ ,  $X$  les exportations,  $n$  l'ensemble des pays et  $t$  l'ensemble des secteurs. Si cet indicateur est supérieur à 1 alors le pays  $i$  possède un avantage comparatif dans le secteur  $j$  et inversement (Utkulu & Seymen, 2004).

<sup>21</sup> Le PIB PPA par tête peut également être utilisé.

Enfin, le dernier groupe d'indicateurs de la compétitivité d'une industrie nationale est basé sur les performances commerciales dans les marchés internationaux. Ce groupe d'indicateurs analyse les parts de marché de l'industrie nationale, c'est-à-dire les parts du marché international détenue par les entreprises localisées sur un territoire (Demailly, 2007). De nombreux ratios basés sur les exportations et les importations sont également utilisés : taux de couverture (exportations/importations), pénétration des importations, ratio de la production sur la consommation. Par exemple, Mathis et al. (1988) définissent un taux de couverture structurel qui est le rapport du taux de couverture d'un pays au taux de couverture de l'ensemble des pays corrigé du différentiel de demande. Cet indicateur permet alors de caractériser les performances commerciales d'une industrie nationale, en intégrant les dimensions domestique et internationale.

#### 1.3.1.5) DELIMITATION DE LA NOTION DE COMPETITIVITE DANS LES TRAVAUX DE CETTE THESE

---

Avant toute étude, il est nécessaire de préciser la définition de la compétitivité telle qu'elle est considérée dans cette thèse<sup>22</sup>. Comme décrit dans le tableau 2, la notion de compétitivité est très large et dépend de l'échelle d'analyse : au niveau du périmètre économique (nation, industrie nationale, entreprise, établissement), du marché (domestique, continental, global, produit) et du temps (court-terme, long-terme).

Dans l'étude des IGCE, ce sont les compétitivités au niveau d'une industrie nationale et aussi à celui des établissements productifs, qui sont pertinentes. Pour une industrie nationale, cette compétitivité repose sur une agrégation des données pour les entreprises situées sur le territoire et donc sur une vision de l'industrie comparable à une unique entreprise. Cependant, la compétitivité d'une industrie nationale se caractérise par la localisation des lieux de production au contraire de celle d'une entreprise. Pour les établissements productifs, c'est l'évolution d'un site de production dans le temps, par l'évolution de ces capacités, qui reflète sa performance économique et donc sa compétitivité.

La compétitivité est également différente selon l'échelle de temps de l'étude. A court-terme, elle est définie, dans cette thèse, comme l'évolution des parts de marché (dans le marché domestique et à l'exportation), ce qui entraîne dans le long-terme une modification de la localisation des sites de production. Cette distinction entre le court et le long terme structure ainsi le travail d'analyse empirique de cette thèse. Dans un premier temps, l'analyse dans le court-terme, sur les parts de marchés et la production, est prédominante. Par la suite, l'étude sur les sites de production est basée sur une définition à plus long terme de cette compétitivité.

La notion de compétitivité industrielle nécessite une délimitation précise du marché étudié. Les travaux économétriques se concentrent alors sur deux secteurs industriels précis : la sidérurgie et la production de papiers et de cartons. Ces deux IGCE sont délimités en détails dans la section 2.1.3) de cette thèse.

---

<sup>22</sup> Cela ne constitue nullement une tentative de définition de la notion de compétitivité, mais une délimitation du concept pour les besoins de cette thèse.

	Géographie de la compétition	Période de temps	Indicateurs	Exemples d'études	Limites
Compétitivité d'une nation	- Marché international	Court terme	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Performances commerciales (ex. parts des exportations mondiales)</li> <li>- Investissements directs à l'étranger</li> </ul>	Berthou & Crozet, 2011 Coe-Rexecode, 2009 CPCI, 2009 Debonneuil & Fontagné, 2003 Fagerberg et al., 2007 Fontagné & Gaulier, 2008 Mathis et al., 1988 Mucchielli, 2009 Schwab, 2009 Thibault, 2008 U.S. Congress, 1985 Weber et al., 1999 Xing, 2006	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Notion de bien-être</li> <li>- Lien avec la productivité nationale</li> <li>- Echanges entre nations ne constituent pas un jeu à somme nulle</li> <li>- Pondération arbitraire des indicateurs composites</li> </ul>
Compétitivité d'une industrie nationale	- Marché domestique - Marché international	Court terme Long terme	- Performances commerciales (ex. taux de couverture, pénétration des importations) - Croissance industrielle (ex. localisation de la production) - Spécialisation industrielle (ex. avantages comparatifs révélés)	Aldy & Pizer, 2009 Baron, 1997 Bergman, 2002 Demailly, 2007 Hourcade et al., 2007 Lundmark, 2001; 2003 Reinaud, 2005	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hétérogénéité des procédés et des produits dans un secteur</li> <li>- Dépend de l'action de multiples acteurs</li> <li>- Compétition avec les produits de substitution</li> </ul>
Compétitivité d'une entreprise	- Marché domestique - Marché international	/	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Parts de marché</li> <li>- Profits</li> <li>- Productivité</li> <li>- Taux de marge</li> <li>- Taux d'auto-financement...</li> </ul>	Dunne et al., 2005 Ferragina et al. 2011 Mata et al., 1995 Mayer & Mucchielli, 1999 Mucchielli, 2002 Nachum et al., 2001 PwC, 2001	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Globalisation des entreprises</li> <li>- Offre de plus en plus diversifiée des entreprises</li> </ul>
Compétitivité d'un établissement	- Entreprise - Secteur	Long terme	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Investissements</li> <li>- Evolution des capacités</li> </ul>	Beeson & Giarratani, 1998 Bloningen et al., 2009 Deily, 1991	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dépend des stratégies d'entreprise</li> </ul>

Tableau 2 : Synthèse des différentes notions de compétitivité

Enfin, les travaux empiriques de cette thèse sont basés sur des indicateurs simples de la compétitivité. Le but est d'utiliser des variables simples afin d'induire le moins possible de biais dans le choix et dans la construction des indicateurs. La production industrielle nationale et les exportations sont ainsi utilisées pour décrire la compétitivité des industries nationales. De plus, ces variables évoluent rapidement en fonction des conditions économiques d'un secteur ainsi que des parts de marché. Leur utilisation permet donc d'analyser l'impact des variations à court-terme des prix de l'énergie sur la compétitivité. La profitabilité d'une industrie nationale n'est pas étudiée. Au niveau des usines de production, la compétitivité est supposée sous-jacente à l'évolution dans le long-terme des capacités de production (variable latente). Si les capacités de production d'une usine augmentent, cela reflète alors la rentabilité du site et inversement lors des fermetures.

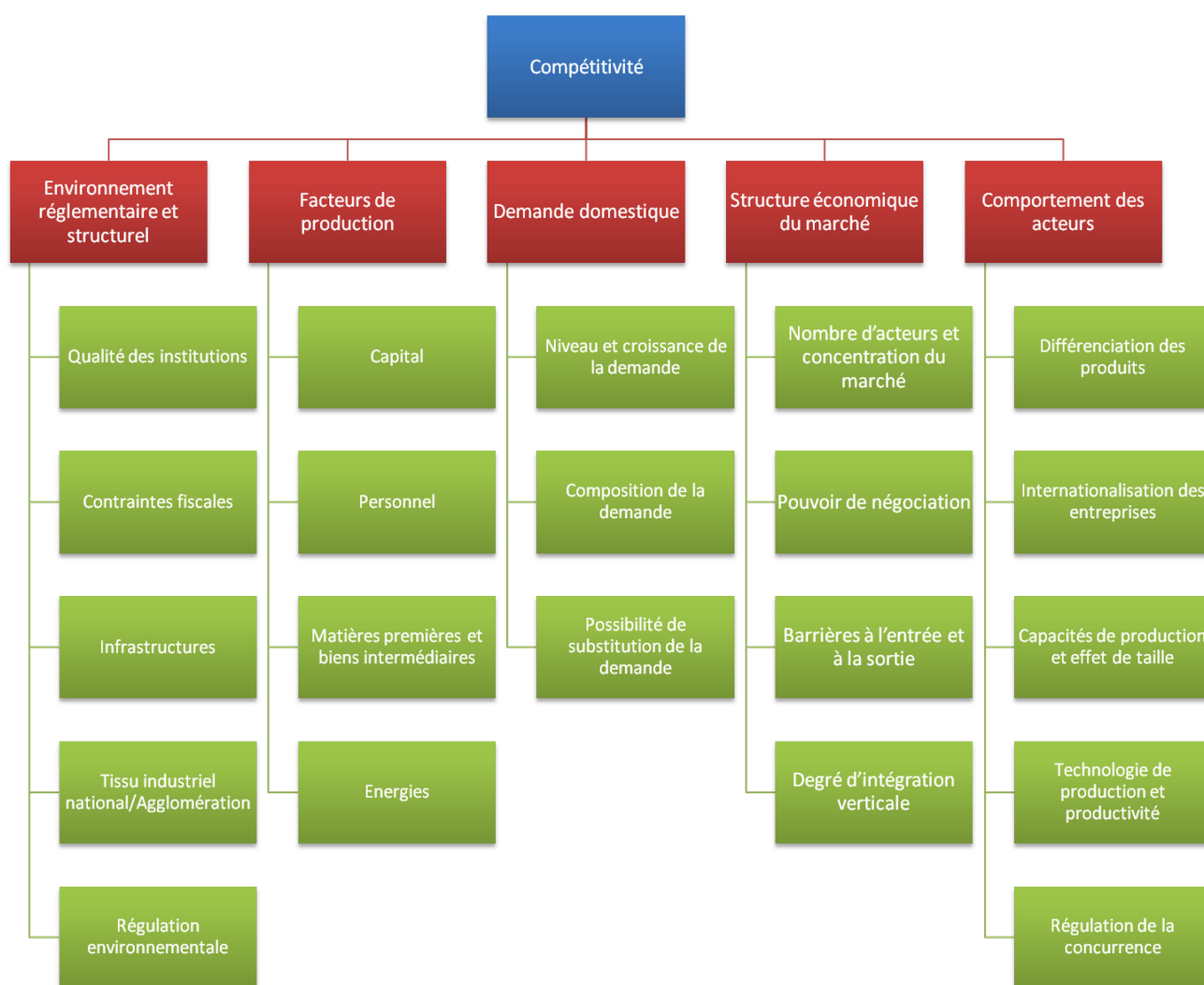
### 1.3.2) PROPOSITION DE CLASSIFICATION DES FACTEURS DE COMPETITIVITE INDUSTRIELLE

Après avoir défini la notion de compétitivité, il convient d'identifier les déterminants potentiels de la compétitivité d'une industrie nationale, notamment des IGCE. En se basant sur la littérature économique, spécialement sur les travaux d'économie industrielle, l'objectif est de regrouper les possibles facteurs de compétitivité et de les classer selon leur dépendance aux comportements des acteurs de l'industrie ainsi que selon leur spécificité aux IGCE. Le choix des facteurs est basé sur des analyses économiques souvent qualitatives, le rôle de chaque facteur n'est pas forcément démontré. Une telle classification permet de situer les travaux de cette thèse et de mettre en évidence leurs limites. En effet, les facteurs identifiés reflètent plusieurs aspects de la compétitivité industrielle, mais seule une partie d'entre eux sont étudiés par la suite. Les contraintes de méthodologie, de données et de clarté ne permettent pas d'analyser la notion de compétitivité de façon exhaustive, même limitée à une industrie nationale.

#### 1.3.2.1) TABLEAU DES FACTEURS POTENTIELS DE COMPETITIVITE POUR UNE IGCE

Le tableau ci-dessous présente la classification des principaux facteurs qui ont potentiellement un effet sur la compétitivité d'une IGCE à un niveau national. Les facteurs sont regroupés parmi cinq familles économiques : le comportement des acteurs, la structure économique du marché, la demande domestique, les facteurs de production ainsi que l'environnement réglementaire et structurel. Ces cinq groupes sont classés selon la possibilité pour les acteurs industriels d'interagir avec ces facteurs. Les déterminants sur lesquels peuvent agir les industriels sont placés à la droite du tableau. Ensuite, plus les facteurs sont situés vers la gauche, plus ils sont indépendants des acteurs du secteur. Cette classification permet de mieux cerner le champ d'action des acteurs industriels d'un secteur.

Il existe également une classification verticale des facteurs de compétitivité dans chaque groupe. Plus un facteur est situé vers le bas, plus celui-ci est spécifique aux IGCE. A l'inverse, un facteur situé en haut du tableau sera commun à la plupart des secteurs économiques. Cet ordre donne la possibilité de mieux appréhender les paramètres de compétitivité propres aux IGCE. Chaque facteur de compétitivité identifié est alors décrit dans la section suivante.



**Tableau 3 : Classification des principaux facteurs potentiels de compétitivité pour une industrie grande consommatrice d'énergie.**

### 1.3.2.2) DESCRIPTION DES FACTEURS DE COMPETITIVITE INDUSTRIELLE

Les facteurs de compétitivité des IGCE, identifiés ci-dessus, orientent les travaux de recherche de cette thèse et permettent de visualiser les mécaniques économiques en jeu. Afin de détailler le contenu de cette classification, chaque déterminant est brièvement décrit dans cette section.

#### i. Comportement des acteurs

Le comportement des acteurs définit le champ d'action individuel des entreprises dans leur environnement économique, politique et technologique. Ainsi, chaque entreprise peut définir une stratégie propre en se positionnant différemment sur le marché, en pénétrant les marchés internationaux, en développant ses capacités ainsi que la technologie de production. Une entreprise peut également être tentée de s'entendre avec la concurrence afin d'amoindrir la pression concurrentielle sur un marché. La variété des comportements des entreprises sur un territoire national caractérise ainsi le rôle des industriels sur la compétitivité d'un secteur.

- Différenciation des produits

Une industrie ou une entreprise peut gagner en compétitivité selon son positionnement en gamme sur le marché. Elle peut soit tenter de concurrencer par le prix les produits standards, ou de différencier ses produits sur un des segments du marché et de gagner ainsi un certain pouvoir de marché. Ce pouvoir de marché, la capacité à pouvoir fixer un prix supérieur au coût marginal, induit souvent une concurrence monopolistique (Carlton & Perloff, 2008; Porter, 1980). La qualité et la variété des produits représentent respectivement une différenciation verticale et horizontale de la production. Cet avantage de compétitivité dépend de la capacité de l'entreprise à empêcher la concurrence de copier les produits. Dans les IGCE, les produits sont souvent considérés comme homogènes et indifférenciés, mais il existe de plus en plus de différenciation à la fois dans les produits et dans les services qui y sont liés. Par exemple, on peut citer le développement des verres plats automobiles athermiques, hydrophobes ou panoramiques pour l'automobile ainsi que des aciers pour véhicules électriques limitant les déperditions d'électricité du moteur ou permettant des rotors à grande vitesse plus compacts. La différenciation des produits dépend de l'innovation et de la publicité (création d'une image de marque).

- Internationalisation des entreprises

Les stratégies d'exportation ou d'internationalisation des entreprises d'un secteur modifient la compétitivité de l'industrie nationale. La structure des entreprises est généralement hétérogènes : certaines exportent beaucoup au niveau mondial ou dans les pays proches, d'autres se limitent au marché national. Ainsi, les entreprises sont plus ou moins exposées à la concurrence internationale et développent des comportements différents, notamment vis-à-vis de la délocalisation. Par exemple, une multinationale étrangère sera moins affectée par la fin de ses activités dans l'un des pays où elle est présente qu'une entreprise locale. Les multinationales au niveau mondial ou régional sont souvent en compétition avec d'autres multinationales. Leurs comportements stratégiques diffèrent alors des entreprises uniquement nationales. Des facteurs propres aux marchés, aux ressources, à l'optimisation de la chaîne de valeur et de stratégie (comportement vis-à-vis des concurrents) expliquent les décisions d'investissements à l'étranger (Dunning, 2000; Jovanovic, 2009; Markusen & Venables, 1998).

Les firmes au sein d'une même branche peuvent être très disparates. Il a été montré que le nombre d'entreprises exportant dans un pays est très faible et que la majorité des exportations sont le fait d'une petite partie d'entre elles (Guillochon & Kawecki, 2009). Ainsi, à l'intérieur d'une industrie nationale coexistent des firmes globales, des entreprises exportant principalement vers le marché régional et d'autres restant limitées au marché national. Les entreprises d'ampleur mondiale possèdent une grande influence sur la façon dont évolue le secteur industriel dans son ensemble. La présence de multinationales augmente la mobilité du capital, la circulation des informations, le nombre de produits, accroît les réseaux d'échange internationaux et modifie la structure de compétition dans un secteur (Jovanovic, 2009).

- Capacités de production et économies d'échelle

L'investissement dans les capacités de production pour une entreprise représente une décision stratégique importante, surtout dans des industries en situation d'oligopole comme dans les IGCE. En effet, la plupart des modèles de concurrence oligopolistique sont fondés ou contraints par le choix des capacités de production des acteurs comme dans les modèles de Cournot, d'Edgeworth et de Stackelberg. Par exemple, dans le modèle de Cournot, une entreprise optimise sa capacité de

production en anticipant la production des autres entreprises (Church & Ware, 2000). De plus, les économies d'échelle sont très significatives dans les IGCE. Le choix d'une entreprise de développer des capacités de taille supérieure à la moyenne peut entraîner un gain de compétitivité-prix (Carlton & Perloff, 2008).

- Technologie de production et productivité

Ce facteur regroupe les caractéristiques du procédé de production. La productivité, la flexibilité, la qualité des produits obtenus, l'efficacité énergétique et environnementale ainsi que les coûts d'investissement définissent la compétitivité d'un procédé industriel. L'innovation dans les procédés ainsi que les effets d'apprentissage par expérience (« learning effects ») améliorent également la compétitivité de l'entreprise. L'âge technique est souvent un déterminant important de la productivité d'une usine, surtout dans les IGCE où les machines ont souvent une durée de vie supérieure à 20 ans. La productivité définit la capacité des acteurs industriels à maximiser la production tout en minimisant les inputs (Stevenson, 2012). Bien que la productivité soit importante dans la plupart des secteurs, elle est cruciale dans les IGCE, où la production est souvent standardisée.

- Régulation de la concurrence

Les lois de régulation de la concurrence ont pour but de limiter le pouvoir de marché des entreprises et de réguler la concurrence. Dans les IGCE, où le nombre d'acteurs est souvent limité et les comportements oligopolistiques fréquents, le risque d'entente est élevé comme le prouve le nombre de cas révélés en Europe, comme par exemple les ententes sur les prix dans le verre plat, condamnée par l'Union européenne en 2008, ou dans les poutrelles en acier en 2006 (European Commission, 2008c), (European Commission, 2006). L'objectif de la régulation de la concurrence est de promouvoir l'efficacité dans un secteur. Cependant, lorsque la coopération est nécessaire pour la production du bien, les accords sont tolérés (Carlton & Perloff, 2008).

## ii. Structure économique du marché

---

Cette seconde famille de facteurs sur la structure économique du marché définit les conditions de fonctionnement du marché. Les acteurs d'un secteur modifient ces conditions par leur comportement, mais non plus de façon individuelle mais par l'ensemble de leurs décisions. Cette section regroupe les déterminants qui définissent le cadre concurrentiel dans lequel évoluent les entreprises : les rivalités entre elles, la pression de potentiels nouveaux entrants qui dépend des barrières à l'entrée et le pouvoir de négociation des acteurs industriels avec les fournisseurs et les clients.

- Nombres d'acteurs et concentration du secteur

Le nombre d'acteurs ainsi que la répartition de leurs parts de marché définissent le niveau de concentration dans un marché. Cette concentration affecte les prix et le volume de production dans une industrie. Elle est souvent liée au pouvoir de marché des acteurs, c'est-à-dire à la possibilité d'ajuster les prix au-dessus de ceux d'un marché en concurrence parfaite. Une forte concentration des acteurs réduit la concurrence dans le marché domestique. Dans les IGCE, où les économies d'échelle sont importantes, le taux de concentration est souvent élevé avec des acteurs dominants. Par exemple, dans la sidérurgie ArcelorMittal domine le marché européen. La concentration d'un secteur est souvent mesurée par le Herfindahl-Hirschman Index qui est la somme des parts de marché de chaque acteur au carré.



Il est généralement considéré que plus la rivalité est forte sur le marché domestique, plus les entreprises nationales sont efficaces et peuvent donc se développer sur les marchés internationaux (Kim & Marion, 1997). « *Among the strongest empirical finding from our research is the association between vigorous domestic rivalry and the creation and persistence of competitive advantage in an industry* » (Porter, 1990, p.117).

- Pouvoir de négociation

Quand la concentration des fournisseurs d'un secteur industriel est élevée, cela augmente généralement le prix des biens intermédiaires. A l'inverse, une forte concentration des acheteurs favorise des prix concurrentiels. La concentration et le pouvoir de marché des secteurs en amont et en aval influencent les performances d'une industrie (Carlton & Perloff, 2008). Une IGCE avec un faible pouvoir de négociation, sous la contrainte de fournisseurs puissants, risque de perdre en compétitivité avec des prix d'achats élevés pour les facteurs de production. C'est d'ailleurs une des principales inquiétudes des producteurs d'acier en Europe par rapport au minerai de fer. En 2010, le directeur général d'Eurofer, G. Moffat a déclaré « *As stated by Eurofer already the prices increases of 80-100 % demanded by iron ore producers do not reflect the realities of the steel market and cannot be justified by demand conditions for iron ore* » (Eurofer, 2010).

- Barrières à l'entrée et à la sortie

Dans les IGCE, le coût des équipements productifs et donc les investissements nécessaires sont très élevés et difficilement récupérables. Il existe donc des barrières importantes à l'entrée et à la sortie dans les IGCE. Dans certains marchés, ces barrières à l'entrée peuvent être augmentées par le comportement stratégique des acteurs industriels. Par exemple, un acteur peut surinvestir dans des capacités de production afin de réduire ses coûts de production grâce aux économies d'échelle et peut ensuite menacer de produire à plein régime pour mener une guerre des prix si un concurrent rentre sur le marché (Church & Ware, 2000). Les entrées de nouveaux concurrents sont, à l'inverse, favorisées par une demande en croissance et par un accès facilité aux capitaux. Ces nouveaux ou potentiels concurrents augmentent la rivalité dans un secteur et développent souvent des innovations et de nouveaux segments de marchés (Porter, 1990).

Il existe également des barrières à l'entrée spécifiques aux concurrents internationaux. Par exemple, la Commission européenne enquête actuellement sur les pratiques anticoncurrentielles dans la production de ciment en Europe, consistant notamment à restreindre les importations non européennes dans l'Espace Economique Européen (Commission Européenne, 2010).

- Degré d'intégration verticale

Une entreprise est considérée comme intégrée verticalement si elle contrôle plusieurs étapes de la chaîne de production ou de distribution d'un bien, sinon elle achète ou vend ces biens à d'autres acteurs. Les restrictions verticales, c'est-à-dire des liens contractuels importants entre partenaires, peuvent également jouer un rôle équivalent à celui de l'intégration verticale. La décision de s'intégrer verticalement dépend de la stratégie des entreprises. Il est généralement moins efficace pour une entreprise de produire elle-même ses facteurs de production que de s'approvisionner sur un marché efficient. Cependant, actuellement le contrôle des ressources minières nécessaires au fonctionnement de nombreuses IGCE, dépend de plus en plus d'un nombre restreint de compagnies. Afin de pouvoir se protéger de ce pouvoir de marché des fournisseurs, certains grands groupes IGCE investissent dans des mines (Carlton & Perloff, 2008).



Par exemple, le groupe sidérurgique ArcelorMittal fait aussi partie des cinq premiers producteurs de minerai de fer et de charbon métallurgique dans le monde ; le directeur des mines de la compagnie, P. Kukielski déclare « *Companies with large-scale, long-life and low-cost mining assets are able to sustain profitability during downturns and deliver shareholder value through the entire business cycle* » (ArcelorMittal, 2012). A l'inverse, l'entreprise d'aluminium Alcan, troisième producteur mondial d'aluminium, a été rachetée en 2007 par Rio Tinto, leader mondial dans la production de bauxite, pour former Rio Tinto Alcan. L'intégration verticale fournit, dans ces cas, un avantage compétitif aux entreprises IGCE, en leur garantissant un accès à un facteur de production essentiel.

### iii. Demande domestique

---

Ce groupe de facteurs décrit les caractéristiques de la demande dans un pays ou dans une zone géographique. Le niveau et la croissance du marché, ainsi que la segmentation de la demande sont des éléments importants du dynamisme des entreprises d'un secteur. Les possibilités de substitution de la part des acheteurs affectent également les performances d'un secteur industriel.

- Niveau et croissance de la demande

Une industrie nationale est souvent avantagée par une demande locale forte et en croissance. En effet, une industrie fournit souvent en premier le marché domestique avant de commencer à exporter ou à s'implémenter à l'étranger, notamment à cause des coûts de transport. Ainsi, un large marché national permet d'obtenir des avantages compétitifs importants dans les industries où les économies d'échelle sont significatives, comme dans les IGCE. Les entreprises sont alors plus enclines à investir massivement dans des usines de grande capacité, à développer de nouvelles technologies et à améliorer la productivité (Porter, 1990). « *Market access is a powerful attractor of firms. To put it in simple words, factories follow the clients, and do flock where the better access to regional demand is available* » (Fontagné & Mayer, 2005, p.30).

La croissance de la demande domestique joue également un rôle non négligeable dans la création d'un avantage compétitif pour une industrie nationale. Une croissance rapide et soutenue de la demande domestique réduit le risque lié à un investissement pour les industriels, notamment celui de se retrouver en sur-capacité si plusieurs acteurs investissent simultanément. Cette croissance est d'autant plus essentielle dans les périodes de changements technologiques rapides. Durant ces périodes, une industrie dans un pays où la demande est mature possède plus de difficulté à réinvestir quand les coûts irrécupérables sont élevés. Cette industrie se retrouve alors avec des équipements technologiquement datés par rapport aux pays en forte croissance (Porter, 1990).

- Composition de la demande

La demande domestique a souvent une influence disproportionnée sur la capacité d'une entreprise à appréhender les besoins des clients car elle est plus proche des clients locaux, géographiquement et culturellement. Dans les industries des biens intermédiaires, comme les IGCE, la relation avec les clients industriels est souvent primordiale pour des questions d'adaptation des produits aux besoins des clients, de qualité et de délai. Ce lien entre fournisseur et client est d'autant plus essentiel dans les industries produisant à flux tendus comme dans la construction automobile, client important des IGCE.

La composition de la demande est donc un facteur complémentaire à celui du niveau et de la croissance de celle-ci. Une industrie qui possède des liens particuliers avec ses clients domestiques est plus robuste face à la concurrence internationale. Une industrie nationale peut aussi profiter d'une segmentation avantageuse de la demande domestique. Si la demande domestique comporte des segments également en croissance dans le monde, alors l'industrie peut obtenir des gains de compétitivité. Au contraire, si le segment principal composant la demande domestique est spécifique au pays, il est difficile d'exporter par la suite (Porter, 1990).

- Possibilité de substitution de la demande

Une possible substitution des produits d'une industrie peut fortement affecter la compétitivité d'une industrie ou au contraire l'encourager à innover. Dans cette situation, les acheteurs peuvent plus facilement modifier leurs habitudes de consommation en cas de hausse des prix, ils possèdent un pouvoir de négociation plus élevé. Cette substitution peut être propre à un pays et peut alors augmenter la pression concurrentielle dans celui-ci (Porter, 1980). Par exemple, les réglementations environnementales encouragent la production de véhicules légers en Europe, ce qui peut favoriser l'utilisation de l'aluminium à la place de l'acier dans la production. Cela peut alors entraîner des problèmes de sur-capacité de production dans la sidérurgie, mais cela encourage aussi l'innovation dans les aciers. Le développement des aciers spécifiques aux véhicules électriques, décrit ci-dessus, en constitue un exemple.

#### iv. Facteurs de production

---

L'abondance et le prix des facteurs de production dans une industrie sont des déterminants importants de la compétitivité. Les facteurs de production ne sont pas uniquement constitués des ressources en matières premières mais aussi des facteurs humains, technologiques, en infrastructure et au capital. Selon le modèle de Heckscher-Ohlin, sur les dotations factorielles, les échanges internationaux se basent sur l'abondance relative des facteurs de production dans les pays. Une nation exporte les biens dont les facteurs de production sont relativement abondants localement par rapport aux autres pays (Guillochon & Kawecki, 2009).

Cependant, deux points importants sont à prendre en compte dans l'analyse des facteurs de production. D'abord, l'essentiel n'est pas le stock, ou la réserve, d'un facteur de production mais le flux disponible pour l'industrie à un instant donné. De plus, le rôle des facteurs de production sur la compétitivité n'est pas immédiat. L'avantage compétitif obtenu pour une industrie dépend également de l'efficacité avec laquelle ce facteur est consommé (Porter, 1990). Par exemple, un pays peut avoir des ressources abondantes en énergie, mais posséder une très faible efficacité énergétique industrielle. Le gain potentiel de compétitivité lié aux ressources en énergie est donc annulé.

- Capital

La disponibilité et le coût des capitaux pour une industrie est primordiale pour les investissements, surtout quand ceux-ci sont très élevés comme dans les IGCE. La dotation en capital d'un pays permet des investissements moins onéreux et plus accessibles pour les entreprises industrielles. L'accès aux fonds financiers permet ainsi d'acquérir des outils de production plus efficaces. Cependant, avec la globalisation des marchés financiers, le capital devient un facteur de production de plus en plus mobile entre les pays (Gustavsson et al., 1999; Markusen et al., 1995).

- Personnel

Le coût du travail est également important dans la structure de coût des entreprises (Markusen et al., 1995). La qualité et la disponibilité de la main d'œuvre permettent à l'entreprise d'être plus productive et mieux organisée. Ainsi la présence d'un système d'éducation et de formation efficace dans un pays est un facteur de compétitivité pour une industrie (Fontagné & Mayer, 2005).

- Matières premières et biens intermédiaires

De faible prix des matières premières et des biens intermédiaires dans un pays constituent un avantage compétitif pour une industrie, surtout pour les IGCE. Mais l'accès, la proximité, la disponibilité et la qualité de ces facteurs sont également essentiels. La possibilité de se prémunir contre les risques de volatilité des prix de ces entrants peut aussi être un avantage important vis-à-vis de la concurrence (Porter, 1990).

- Energies

Par définition, l'énergie représente une part importante des dépenses nécessaires à la production dans les IGCE. Ce facteur de production occupe donc une place particulière dans ces secteurs. Comme pour les facteurs ci-dessus, les prix, l'accès, la disponibilité, la qualité et la volatilité des différentes formes d'énergie sont à prendre en compte.

#### v. Environnement réglementaire et structurel

---

L'analyse de l'environnement réglementaire et structurel d'une industrie permet de connaître les contraintes et les opportunités délimitant l'action des acteurs industriels. L'intégration d'un secteur au tissu industriel et dans l'espace économique, politique et social d'un pays lui permet de développer sa compétitivité sur le long terme. Cependant, les acteurs d'une industrie possèdent peu de moyens d'action sur cet environnement.

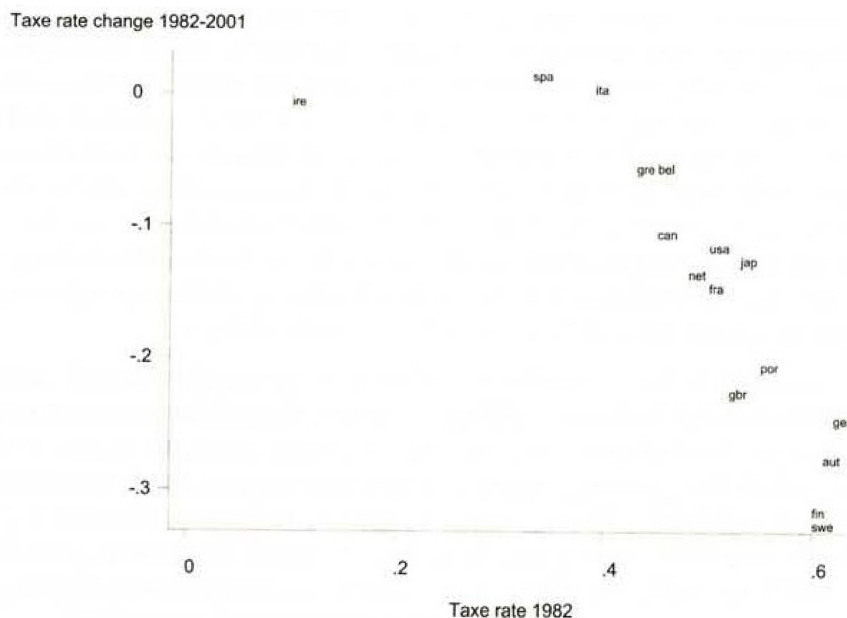
- Qualité des institutions

Ce facteur décrit l'environnement institutionnel d'une industrie dans un pays. Des institutions stables améliorent le fonctionnement des entreprises et des transactions dans le pays. Par exemple, le respect des contrats est garanti par un système juridique efficace. Les lois peuvent également permettre la protection de l'innovation et de la propriété (brevets et copyright), encourageant ainsi la recherche et la compétitivité. « *A stream of results has shown that improving such institutions as the protection of civil and property rights, the level of economic and political freedom, and the level of corruption tend to be associated with higher prosperity* » (Fontagné & Mayer, 2005, p.28). L'existence d'un système éducatif et universitaire de qualité, et en relation avec l'industrie favorise également le succès dans une industrie (Jovanovic, 2009).

- Contraintes fiscales

Les taxes aux entreprises sont souvent considérées comme un déterminant majeur de la localisation de l'investissement des entreprises. En effet, les écarts dans le niveau de taxation des entreprises dans différents pays agissent directement sur les coûts et donc sur la compétitivité. Ces contraintes peuvent avoir des formes très différentes, ce qui représente une difficulté importante pour comparer ces taxes. Actuellement, de plus en plus de grands groupes internationaux optimisent leurs flux monétaires

internes afin de réduire le montant des taxes à payer. Parallèlement, les pays occidentaux se sont livrés à une compétition sur les taxes aux entreprises au début des années 2000, afin d'attirer les investissements (Figure 55). Le cas de l'économie irlandaise est souvent cité en exemple, pour sa politique d'attraction des multinationales en Europe avec un taux d'imposition très faible (Fontagné & Mayer, 2005).



**Figure 55 : Taux réglementaire d'imposition des entreprises dans les principaux pays développés. Sources : (Fontagné & Mayer, 2005)**

- Infrastructures

Les infrastructures, c'est-à-dire l'aménagement du territoire, permettent d'améliorer le réseau d'approvisionnement et de livraison des usines. Cela augmente ainsi la productivité et la réactivité des industries. Le type, la qualité et le coût d'utilisation de ces infrastructures modifient la compétitivité d'une industrie, surtout pour des produits lourds ou dont le transport est soumis à des normes restrictives comme dans les IGCE. Les infrastructures ne concernent pas uniquement le transport mais aussi les systèmes de communication et d'information (Porter, 1990).

- Tissu industriel/Agglomération

La présence dans un pays d'un tissu industriel développé et d'un regroupement d'industries autour d'un secteur permet à celui-ci de profiter de meilleurs services (ex. entreprises spécialisés dans la maintenance, constructeurs de machines, recherche en partenariat). Cela permet également de stimuler l'innovation et les échanges d'informations. L'existence d'un tissu industriel important indique la présence de fournisseurs et de clients proches. Un secteur fortement regroupé possède aussi un pouvoir de négociation plus élevé auprès du gouvernement, des fournisseurs et des clients. L'industrie est ainsi mieux intégrée à l'économie du pays et peut s'adapter aux changements beaucoup plus efficacement (Jovanovic, 2009; Porter, 1990). Par exemple, l'émergence d'une industrie nucléaire nécessite la présence de multiples acteurs comme les fournisseurs de réacteurs, les exploitants, les centres de recherches en physique nucléaire et des agences de contrôle.

Un phénomène d'agglomération des entreprises d'une même industrie dans des lieux géographiquement proches est souvent constaté. Les entreprises « *suivent les autres entreprises* » (Fontagné & Mayer, 2005, p.13). Les externalités positives sont souvent considérées comme la principale raison de ces regroupements (Head et al., 1995). Par exemple, quand les acteurs d'un même pays investissent à l'étranger, ils se regroupent souvent ensemble et dans des espaces précis (Crozet et al., 2004).

- Régulation environnementale

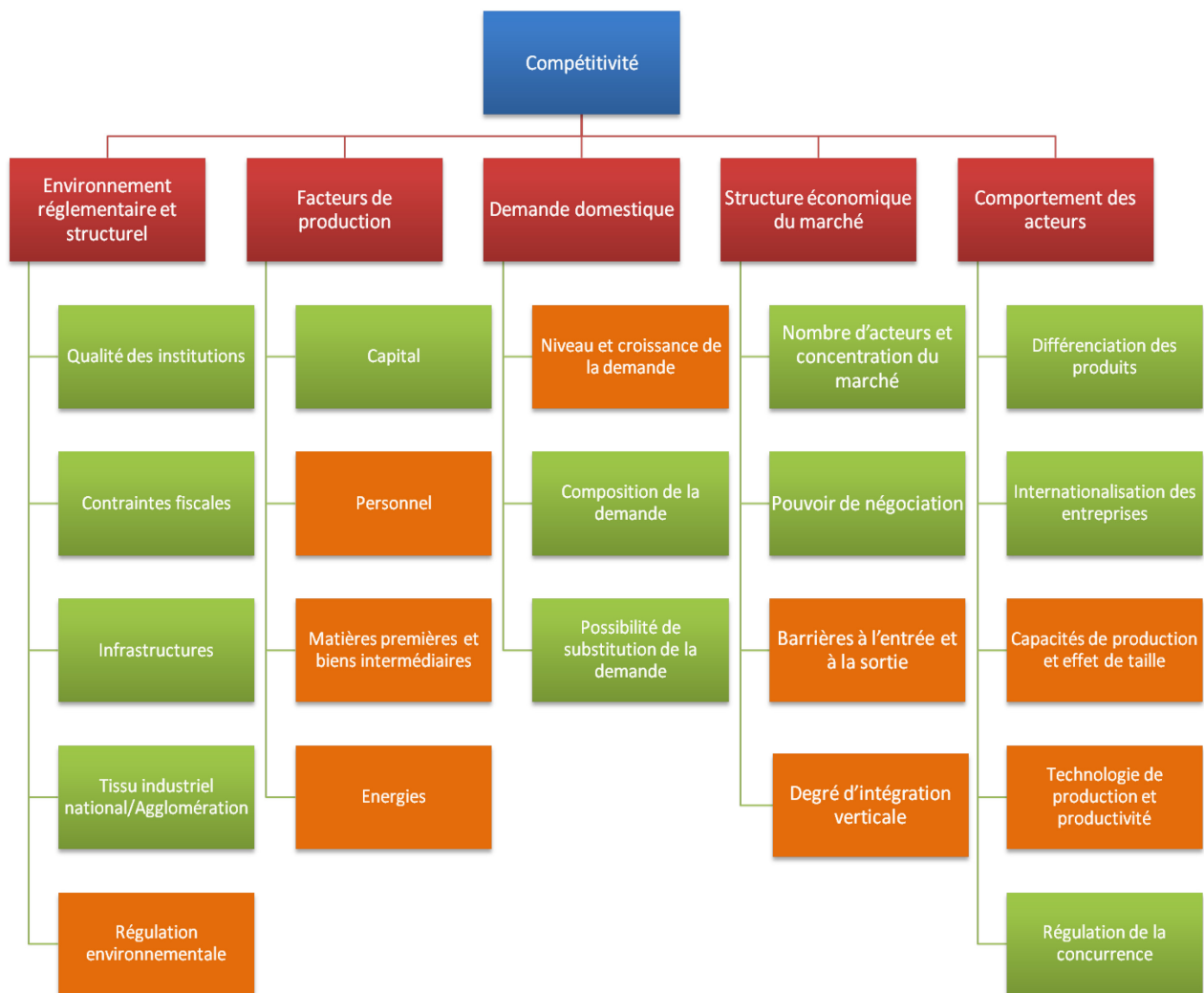
Les IGCE émettent souvent aussi d'importantes quantités de polluants. La régulation environnementale d'un pays concerne donc directement les IGCE. Cela implique souvent des coûts supplémentaires pour une industrie, qui risquent d'affecter sa compétitivité s'il existe des asymétries dans les contraintes environnementales au niveau international. Ce phénomène de « *dumping environnemental* » constitue d'ailleurs un blocage important dans l'instauration de politiques environnementales efficaces, notamment avec les phénomènes de fuite de carbone (Bureau & Mougeot, 2004, p.36; Demailly, 2007; Reinaud, 2005).

### 1.3.2.3) CHOIX DES DETERMINANTS ETUDIES DANS LES TRAVAUX DE CETTE THESE

Les travaux de cette thèse ne peuvent pas analyser de façon exhaustive tous les déterminants de la compétitivité identifiés précédemment. En effet, une méthodologie peut difficilement permettre d'analyser tous les aspects de la compétitivité en une seule fois. Seuls certains aspects de la notion de compétitivité industrielle sont étudiés dans cette thèse. Comme le sujet principal consiste à identifier et à pondérer le rôle de l'énergie et des politiques environnementales, nous avons décidé de concentrer les travaux sur la compétitivité-prix des IGCE, tout en y intégrant certains aspects liés à la structure économique et aux comportements des acteurs (Figure 56).

Les facteurs de production constituent donc la majorité des déterminants étudiés dans les travaux empiriques sur les IGCE. Les coûts de la main d'œuvre ainsi que sa formation, l'abondance et les prix des matières premières ainsi que les coûts de l'énergie sont inclus dans la plupart des analyses. Le facteur du capital n'est pas pris en compte car il est difficile de définir son coût et sa disponibilité pour une industrie précise. De plus, les capitaux sont de plus en plus mobiles au niveau international, surtout dans les IGCE où les entreprises sont souvent multinationales.

L'étude au niveau des usines permet de prendre en compte des facteurs plus spécifiques aux acteurs comme la technologie de production, les économies d'échelle et l'intégration verticale. Ce type de facteur est difficile à prendre en compte au niveau d'une industrie nationale, car l'utilisation d'une moyenne masque souvent des situations contrastées au sein d'un même pays. Enfin, l'effet de la régulation environnementale est surtout analysé dans la troisième partie de cette thèse avec l'étude des effets distributifs d'une taxe carbone européenne sur l'industrie manufacturière.



**Figure 56 : Choix d'étude des principaux facteurs potentiels de compétitivité pour une IGCE. Les facteurs surlignés en orange sont ceux étudiés dans cette thèse.**

### 1.3.3) LE LIEN ENTRE ENERGIE ET COMPETITIVITE DANS L'INDUSTRIE

Après avoir défini la notion de compétitivité ainsi que ses principaux déterminants pour une IGCE, il est pertinent d'analyser le lien spécifique qui existe entre la compétitivité industrielle et l'énergie, et dans une moindre mesure avec les contraintes environnementales. En effet, si la classification des facteurs potentiels de compétitivité, présentée ci-dessus, inclut l'énergie dans les facteurs de production, l'énergie n'est pas forcément un bien comme les autres, notamment à cause de l'importance de la régulation pour ce facteur. Cependant, l'impact de l'énergie sur la compétitivité a rarement été étudié de façon précise, la majorité des travaux s'attardent sur l'effet d'une politique environnementale. Ces différents travaux sont présentés dans cette section.

### 1.3.3.1) L'ÉNERGIE EST-ELLE UN « BIEN COMME LES AUTRES » ?

---

Dans les années 1980 et 1990, dans la plupart des pays de l'OCDE, il est devenu commun de considérer l'énergie comme un facteur de production semblable aux matières premières, uniquement soumis aux forces du marché (Helm, 2007). Néanmoins, les défis énergétiques et climatiques actuels remettent en question l'absence du rôle de l'état dans la gestion de l'énergie, et donc la notion de matière première qui semblait s'appliquer à l'énergie. Pour une entreprise ou pour une industrie, l'énergie est-elle simplement un entrant comme les autres, qui dépend de la demande et de l'offre sur le marché, ou un produit spécifique avec un haut contenu politique ?

#### i. Bref historique de la régulation énergétique

---

Dans les pays occidentaux, la production d'énergie constituait un ensemble de petits systèmes indépendants et peu efficaces avant la seconde guerre mondiale. Souvent de propriété municipale ou privé, la production d'énergie était peu rationalisée. A la suite de la seconde guerre mondiale, dans les pays occidentaux, surtout au Royaume-Uni et en France, un processus d'agrégation nationale du système énergétique s'est mis en place avec la nationalisation du secteur. De grands groupes nationaux sont alors apparus tels que British Pétroleum, la Compagnie française des pétroles (Total) ou Electricité de France. La gestion de l'énergie était alors entièrement gérée par l'état entre 1950 et 1970. Durant cette période, les prix de l'énergie étaient beaucoup plus stables qu'actuellement, la politique énergétique consistait principalement à évaluer l'évolution de la demande et à investir dans des capacités de production en conséquence. Un prix régulé était alors fixé en fonction des coûts de fonctionnement (Smith, 2009). Le marché de l'énergie était donc principalement un monopole d'état basé sur la planification des investissements (Helm, 2007).

Le double effet des crises pétrolières et de la politique monétariste a entraîné un changement structurel majeur de la production énergétique dans les années 1980 et 1990. Ces deux phénomènes ont provoqué une forte baisse de la part des industries intensives en énergie dans l'économie ainsi que la privatisation et la libéralisation des marchés de l'énergie dans de nombreux pays développés (Smith, 2009). Par exemple, l'entreprise pétrolière Total est privatisée en 1993 en France et le Central Electricity Generating Board (CEGB), pour la production d'électricité au Royaume-Uni, est divisé en trois compagnies différentes en 1990.

A cette période, l'objectif est à tout prix de faire de l'énergie une matière première comme les autres, ne dépendant que des forces du marché, sans intervention de l'état. Les marchés des matières premières sont considérés comme les plus efficaces au niveau mondial. Ils se caractérisent par des échanges internationaux importants avec des coûts de transports prévisibles, de multiples fournisseurs et acheteurs avec peu de pouvoir de marché, une qualité standardisée et des mécanismes transparents de fixation des prix (cotation sur les marchés), (Berrie & Hoyle, 1985). La privatisation des marchés de l'énergie va se révéler fructueuse dans les pays où elle est mise en place, notamment du fait de l'existence d'importante de sur-capacités de production. En effet, durant la période des marchés régulés, les autorités n'avaient pas prévu la baisse de consommation d'énergie post-crisis pétrolières et avaient investi sur des prévisions à la hausse. Lors de la privatisation, notamment au Royaume-Uni, les acteurs privés n'ont pas eu besoin d'investir. Ils se concentrent alors sur la réduction des coûts et sur l'exploitation optimisée des actifs existants (« asset sweating »), ce qui mène à une baisse des prix (Helm, 2007). Cette politique de libéralisation des marchés de l'énergie se développe ensuite à toute



l'Union européenne en 1997 pour l'électricité et en 2000 pour le gaz naturel (Parlement Européen, 1996; 1998).

Cependant, la forte hausse des prix de l'énergie à partir des années 2000, les tensions dans la demande énergétique mondiale avec la montée des pays émergents et plus globalement les enjeux de sécurité d'approvisionnement ainsi que les problèmes du réchauffement climatique remettent en cause ce retrait de la politique énergétique. Les marchés et les acteurs privés ne semblent pas capables de répondre, seuls, aux nouveaux enjeux énergétiques et environnementaux : « *The search for new energy policies, therefore, has to go beyond the market approach, even if it has to take it as given and new policies are built on its foundations* » (Helm, 2007, p.7). Un nouveau modèle de système énergétique dans lequel l'état oriente les acteurs du marché semble donc nécessaire pour corriger les imperfections nombreuses de la concurrence dans l'énergie et pour pouvoir répondre aux nouveaux défis actuels.

## ii. Des imperfections de marché qui font de l'énergie un bien politique

Durant la période de libéralisation des marchés de l'énergie, les producteurs privés ont bénéficié de prix bas de l'énergie primaire et d'investissements datant du monopole d'état. Désormais, le système énergétique doit répondre aux défis de la montée des prix du pétrole et des autres formes d'énergies, de l'utilisation des exportations d'énergie comme un outil de pression politique<sup>23</sup>, et du réchauffement climatique. Dans ce contexte, les états et l'Union européenne se révèlent nécessaires afin de corriger les imperfections de marchés qui sont apparues lors des deux décennies précédentes.

En effet, il existe d'importantes imperfections de marché dans le secteur de l'énergie car ce sont des marchés particuliers. Le marché de l'électricité est ainsi très différent de celui de la plupart des autres matières premières, telles que le sucre ou le minerai de fer. C'est un marché en réseau dans lequel les contraintes physiques impliquent que la production soit à tout moment équivalente à la demande. De plus, l'électricité est très difficilement stockable et la demande varie fortement selon la journée et selon la période de l'année. Cela nécessite donc la présence de capacité de production en réserve toute l'année pour répondre aux pics de demandes. Ces capacités sont difficiles à rentabiliser pour un acteur privé, ce qui réduit l'investissement dans celles-ci. C'est d'ailleurs une des principales inquiétudes des marchés libéralisés de l'électricité. En effet, il existe une asymétrie importante des coûts entre un excès de capacité et un excès de demande. La capacité économiquement optimale n'est pas la même pour l'économie dans son ensemble que pour les producteurs d'électricité (Helm, 2007). « *Policy-makers in many countries are expressing concerns that competitive wholesale electricity markets are not providing appropriate incentives to stimulate 'adequate' investment in new generating capacity at the right time, in the right places, and using the right technologies* » (Joskow, 2007, p.76).

Enfin, les investissements dans des capacités de production de l'électricité sont souvent de très longue durée, entre 40 ans et 60 ans pour les centrales nucléaires ou au charbon. Les investissements fixes sont également très élevés. Il est alors difficile pour un acteur privé de mobiliser de tels fonds pour un horizon de durée si important. Ce problème est d'autant plus marqué que les politiques environnementales restent très incertaines, notamment par rapport aux prix du CO<sub>2</sub>. Cela implique que

<sup>23</sup> L'exemple le plus marquant est celui de la crise d'approvisionnement de gaz naturel entre la Russie et l'Ukraine en janvier 2006. Durant cet hiver très froid, la Russie a coupé les exportations de gaz vers l'Ukraine réduisant ainsi l'accès au gaz en Ukraine, mais également dans de nombreux pays européens en aval du gazoduc. Cette action a été interprétée comme une réaction politique au rapprochement de l'Ukraine vers l'Union européenne (Honoré & Stern, 2007).



la plupart de la consommation de combustibles fossiles et des émissions de CO<sub>2</sub> pour les prochaines décennies sont déterminés par les investissements actuels (Joskow, 2007). Le risque de blocage technologique (« lock-in ») est très élevé dans la production d'électricité. Sans intervention de l'état, sans signal crédible sur la valorisation du CO<sub>2</sub>, les investisseurs privés s'orientent sur des choix d'investissement à court terme, qui rendent les objectifs de limitation du réchauffement climatique très difficilement atteignable dans le long terme (Scrase & MacKerron, 2009). La libéralisation du marché, dont la seule priorité est la baisse des prix de l'électricité, semble donc ne pas pouvoir gérer efficacement les problèmes de sécurité de l'approvisionnement et de réduction des émissions de CO<sub>2</sub>, sans une régulation de l'état ou de l'Union européenne. C'est par exemple le mouvement actuel des autorités anglaises, pourtant initiatrice du mouvement de libéralisation dans ce secteur, « *face aux objectifs que la Grande Bretagne s'est fixés, elle revient progressivement à plus de régulation* » (Percebois & Mandil, 2012, p.49).

Pour les autres énergies, les marchés actuels sont loin d'être comparables à ceux des matières premières. La plupart des prix pour les combustibles fossiles sont fortement faussés à la fois par des cartels de producteurs comme l'OPEC dans le pétrole, soit par des taxes à la consommation très élevées. Ces taxes représentent 88 % du prix de l'essence en moyenne dans l'Union européenne. « *For the oil market, the key to its operation lies in the role of market power in a strongly oligopolistic market structure. This creates very considerable rent in the international oil price, pushing crude prices far above marginal cost* » (Stevens, 2007, p.124). La sécurité d'approvisionnement, dans le pétrole et dans le gaz, est très dépendante de la situation géopolitique, qui peut avoir de fortes répercussions sur les prix du marché. « *Energy policy has to a considerable extent become foreign policy* » (Helm, 2007, p.1).

De plus, les capacités de transports en gaz liquéfié étant encore restreintes, l'importance économique et politique des gazoducs reste prédominante. L'accès à ces gazoducs étant réservés aux opérateurs historiques, l'arrivée de nouveaux concurrents sur le marché du gaz est très difficile. De plus, les investissements nécessaires pour satisfaire la croissance de la demande européenne en gaz, sont retardés par les compagnies gazières à cause des montants en jeu et des incertitudes politiques, notamment dans la région de la mer Caspienne. Cela mène alors à des accords bilatéraux entre producteurs et consommateurs, comme pour le gazoduc Nord Stream entre la Russie et l'Allemagne. L'avènement d'un marché intégré du gaz n'est pas encore d'actualité en Europe (Helm, 2007; Honoré & Stern, 2007).

Enfin, dans le charbon, les marchés ne sont pas transparents (Berrie & Hoyle, 1985). Les prix sont fixés bilatéralement entre les vendeurs et les acheteurs. Des tentatives ont été faites pour créer un marché spot du charbon vapeur (API-2, API-4), mais ceux-ci se révèlent peu fiables. La production de charbon est très concentrée au niveau mondial et fournit encore principalement une consommation domestique. Les cinq premiers pays producteurs représentent 78 % de la production mondiale de charbon vapeur. Un des problèmes pour développer un marché transparent du charbon est la difficulté d'établir des standards de qualité pour chaque type de charbon vapeur. De plus, les prix du charbon échangé internationalement dépendent fortement des coûts de la logistique. Le marché international du charbon est donc encore loin d'être aussi efficace que celui d'autres matières premières (Zaklan et al., 2009).

On constate donc que l'énergie n'est pas un facteur de production comme les autres. L'évolution de l'approvisionnement et des prix dépend encore beaucoup de l'intervention des états et de l'Union européenne. Après une politique de libéralisation des marchés, de nombreuses imperfections de

marché sont apparues. Face aux nouveaux enjeux liés aux tensions sur les marchés, au réchauffement climatique et à la sécurité d'approvisionnement, l'intervention des gouvernements semblent de plus en plus probable dans l'avenir. Ce retour de l'intervention de l'état ne sera pas sous la forme de nationalisation comme après la seconde guerre mondiale, mais par l'imposition d'orientations stratégiques (Smith, 2009). N. Stern (2006, p.27) exprime ainsi à propos de la réponse au changement climatique, «*market failure on the greatest scale the world has seen* ».

Les marchés de l'énergie évoluent donc non seulement en fonction des forces du marché mais aussi selon les impératifs des états. L'énergie demeure un facteur de production éminemment politique, par rapport aux aspects économiques, géopolitiques, environnementaux et sociaux. Ce facteur de production pour les industries se distingue donc des autres facteurs par son aspect politique. L'étude du lien entre l'énergie et la compétitivité, est alors un enjeu pour comprendre et évaluer l'impact de décision favorisant l'environnement, la sécurité de l'approvisionnement ou le social, par rapport à des choix uniquement économiques.

### 1.3.3.2) UN BESOIN D'ANALYSE EMPIRIQUE POUR CONFIRMER LES TRAVAUX SUR LE LIEN ENTRE ENERGIE ET COMPETITIVITE DANS L'INDUSTRIE

---

#### i. Etudes des chocs pétroliers

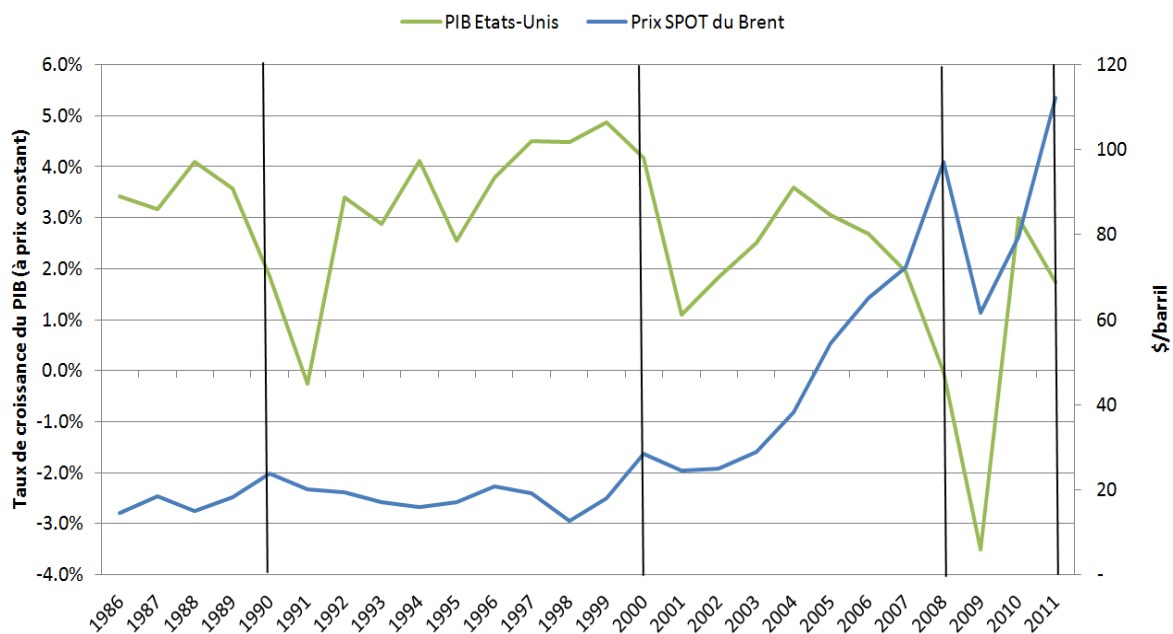
---

La majorité des travaux sur les prix de l'énergie ont étudié les mécanismes de fixation de ces prix, mais assez peu l'effet de ces prix sur la compétitivité de l'économie, notamment sur celle de l'industrie. Cependant, à la suite des crises pétrolières des années 1970, de nombreuses études ont porté sur l'impact des variations des prix du pétrole sur l'économie. Leur but a été d'identifier le rôle précis des prix du pétrole dans les crises pétrolières d'un point de vue macroéconomique (Fried & Schultze, 1975; Mork, 1994; Stevens, 2007). Leurs conclusions confirment le fait que des prix élevés du pétrole réduisent la croissance économique. Ainsi, JD. Hamilton (1983) analyse que toute les récessions aux Etats-Unis, sauf une, entre 1945 et 1983 ont été précédées d'une période de hausse des prix du pétrole.

Ce constat semble se confirmer jusqu'à la période actuelle, avec une hausse des prix du pétrole en 1990, 2000 et 2008, soit avant les années de chute de la croissance économique aux Etats-Unis (Figure 57). On note d'ailleurs une nouvelle augmentation marquée des prix du pétrole en 2011. Pourtant, lors des dernières crises économiques, la montée des prix du pétrole comme une des possibles causes, reste peu évoquée: «*However, during 2004/2005, there were many claims reported in the trade press from those who argued that the world had changed and could now live with higher oil prices. In particular they cited the fact that compared to 1970s and 1980s oil is much less important in the balance of payments in most countries and oil intensities are less* » (Stevens, 2007, p.143).

Par la suite, le lien entre les prix de l'énergie et l'économie a été analysé par de nombreuses études basées sur des méthodes économétriques. La plupart du temps ces études n'étudient que l'impact des prix du pétrole, considérant que les prix des autres énergies sont liés à ceux du pétrole. Une grande partie des travaux s'est concentrée sur l'analyse de la corrélation entre les prix du pétrole et la valeur des actions dans les pays développés. Les auteurs trouvent alors une relation statistiquement significative entre ces indicateurs dans la plupart des travaux (Faff & Brailsford, 1999; Kaneko & Lee,

1995; Park & Ratti, 2008). De plus, ce n'est pas seulement le niveau des prix du pétrole qui possède un effet mais également la variabilité de ceux-ci. En outre, il existe une asymétrie importante entre les effets d'une hausse et ceux d'une baisse des prix du pétrole. Les acteurs économiques réagissent plus à une hausse des prix qu'à une baisse (Sadorsky, 2008).



**Figure 57 : Lien entre le prix du pétrole brut et la croissance du PIB aux Etats-Unis entre 1986 et 2011. Sources : Estimé à partir de (Enerdata, 2010)**

Très peu d'auteurs se sont spécifiquement intéressés à l'effet des prix du pétrole sur l'industrie (Bohi, 1989; Herrera, 2007; Jiménez-Rodriguez, 2008; Kilian & Park, 2007; Lee & Ni, 2002). Seuls Bohi (1989) et Jiménez-Rodriguez (2008) ont étudiés l'industrie sur plusieurs pays, les autres études se basent que sur les Etats-Unis. Pour autant, ces travaux économétriques ne trouvent pas des résultats similaires. Dans leur étude des effets des prix du pétrole sur la production industrielle, Bohi (1989) trouve que les prix de l'énergie ne permettent pas d'expliquer les récessions des années 1970, alors que Lee & Ni (2002) affirment l'inverse à partir de leurs résultats, de même que Jiménez-Rodriguez (2008) malgré la présence d'hétérogénéités selon les secteurs industriels et les pays. Herrera (2007) analyse le délai qui existe entre les chocs pétroliers et l'impact sur les industries manufacturières.

Le lien entre les prix de l'énergie et la compétitivité industrielle est peu étudié dans la littérature économique. Les travaux portent sur des secteurs agrégés avec des méthodes macroéconomiques. L'impact des prix de l'énergie sur un secteur industriel en particulier est très rarement étudié de façon quantitative, si ce n'est par un prix global du pétrole brut dans le monde ou dans le continent. Les seuls travaux qui analysent le rôle de l'énergie dans la compétitivité, le font de manière indirecte, en étudiant, par exemple, les effets d'une taxe environnementale.

## ii. Des analyses qualitatives soulignant le rôle essentiel des prix de l'énergie

Cette absence de recherche approfondie sur le lien entre les prix de l'énergie et la compétitivité industrielle de secteurs précis est d'autant plus singulière que de très nombreux rapports et analyses stratégiques de la compétitivité dans les IGCE mettent fortement en avant l'importance de l'énergie.

Dans sa série d'études sur la compétitivité des secteurs industriels européens, la Commission européenne souligne la menace très forte qu'induit une hausse des prix de l'énergie en Europe sur la compétitivité de la sidérurgie, des industries des métaux non-ferreux et du verre.

- « *The **steel** sector overall is confronted with major challenges notably in terms of costs and access to raw materials and energy, which have a serious impact on the industry's performance* » (Directorate-General Enterprise & Industry, 2008a, p.iii).
- « *As energy is an important input factor in the **steel** production process, energy security and reliability in terms of prices is of strategic importance to the industry. Further development of the EU energy markets is therefore seen as crucial for the sector's competitiveness* » (Directorate-General Enterprise & Industry, 2008a, p.xi)
- « *There is great variation in the level and stability of electricity prices in the EU, which will have a major influence on [**glass**] firms' decisions on whether to invest and where* » (Directorate-General Enterprise & Industry, 2008b, p.88)
- « *Globally, the demand for energy increases and affects long-term supply and costs in the EU glass industry. This is a very severe threat to the **glass industry** since the glass industry is one of the most energy intensive industries and as energy costs make up a high share of total production costs. The energy intensity varies by glass sub-sector but in some instances, it may account for more than one fifth of production costs in the mass produced container glass industry, and this figure may be even higher in the future. Furthermore the security of supply of energy may be a challenge in the future* » (Directorate-General Enterprise & Industry, 2008b, p.137).
- « *The EU **NFM [Non-ferrous Metals]** industry, especially primary aluminium, is one of the most energy intensive industries in Europe. The sector is vulnerable to energy shocks, increasing energy prices and to policies like EU ETS aimed at reducing emissions. These represent real threats to its international competitiveness* » (Directorate-General Enterprise & Industry, 2011, p.100) .
- « *Energy (especially power) constitutes a large proportion of **NFM** primary production costs and changes in electricity prices thus have major impacts on the competitiveness of the NFM industry. Part of this impact results from the EU ETS; the other part results from the energy market and its policies itself* » (Directorate-General Enterprise & Industry, 2011, p.106).

Les associations de producteurs industriels mettent également en avant le caractère essentiel de l'énergie dans la compétitivité de leur industrie, même si leur point de vue peut apparaître plus subjectif. Néanmoins, cela témoigne des préoccupations des acteurs de ces industries :

- « *Energy: The deciding factor in European **paper industry** competitiveness – dramatically increasing energy prices. Dramatic increases in energy costs in Europe have placed paper industry at a competitive disadvantage in relation to most of its global competitors. Consequently, industry is not only losing profitability, but also potential investments to other regions* » (CEPI, 2005, p.3)

- « *Energy is of course a major issue here as it has the potential to be one of the most damaging competitiveness factors [in the **paper industry**]* » (CEPI, 2005, p.5).
- « *At the same time energy and feedstock availability and prices are key factors for the competitiveness of large parts of the **chemicals industry**. In particular, for the commodity type of chemical products, energy and feedstock costs together frequently exceed 50 % of total production cost* » (European Commission, 2007, p.3).
- « *Further development of electricity markets, also as a consequence of climate change policy, will have a decisive influence on the future of this important part [**Electrochemical processes**] of the chemicals industry in Europe* » (European Commission, 2007, p.4).

Le constat du rôle de l'énergie dans la compétitivité des IGCE est donc très marqué que ce soit dans les analyses des autorités, des industriels ou de cabinets de consultants. Selon ces rapports, les prix de l'énergie sont très influents sur la production, la rentabilité et les décisions de localisation des investissements. Une hausse asymétrique de ces prix dans un pays ou en Europe constitue une menace sérieuse pour ces industries. Ainsi, il existe un écart important entre l'inquiétude majeure des acteurs industriels et des gouvernements concernant la question énergétique et l'absence d'une littérature économique conséquente sur le sujet. Le fonctionnement des marchés de l'énergie fait l'objet d'une attention très significative des économistes, mais les conséquences de l'énergie sur les performances de l'industrie manufacturière restent relativement peu étudiées.

### iii. Effets d'une taxe environnementale

---

Au contraire, les conséquences de l'instauration d'une contrainte environnementale sur l'industrie manufacturière sont au cœur d'un nombre croissant de travaux depuis quelques années, notamment depuis la mise en place de la politique des quotas d'émissions dans l'Union européenne (EU-ETS). Comme une des principales manières de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> est de réduire la consommation de combustibles fossiles, de nombreux travaux ont alors analysé l'impact d'une hausse des prix de l'énergie liée à une taxe environnementale (Ekins, 1995).

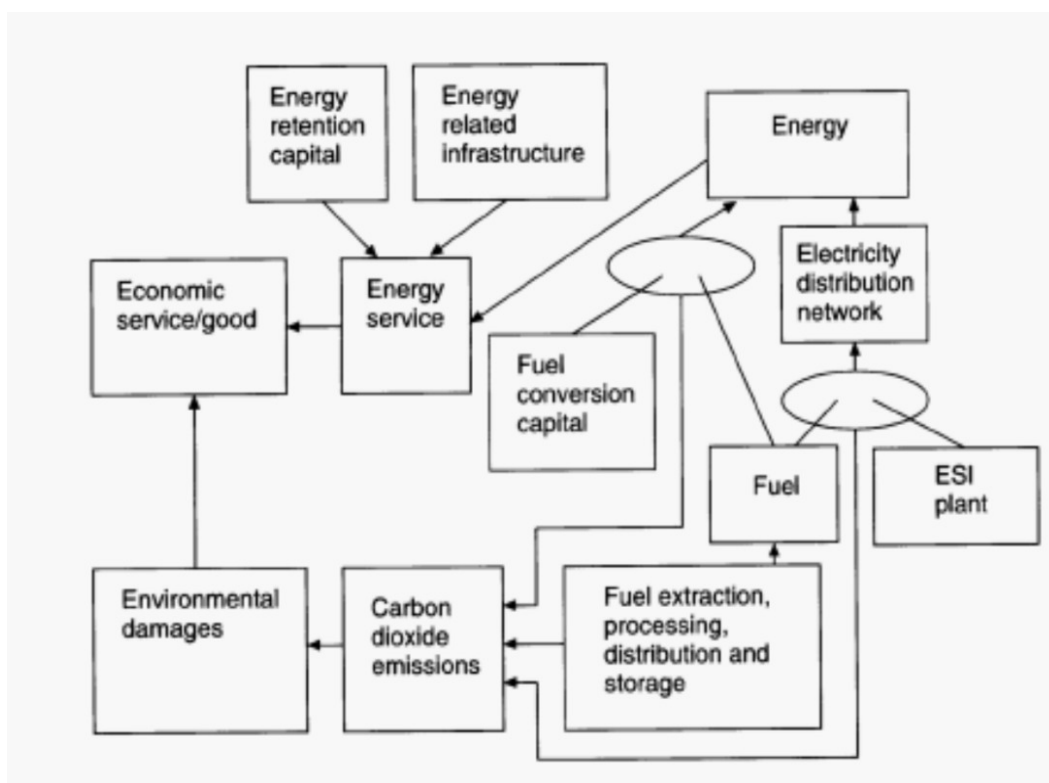
#### *Les modèles d'équilibre général*

---

L'objectif principal de travaux utilisant des modèles d'équilibre général, est d'évaluer les coûts d'une politique de réduction des émissions pour les comparer à ceux d'un possible réchauffement climatique. Il est alors possible d'optimiser au mieux une politique environnementale pour répondre à ce problème. Pour cela, il est important de situer la place de l'énergie dans le système reliant l'économie à l'environnement (Figure 58). Afin d'étudier ce type de système, de nombreux modèles en équilibre général (CGE) ont été développés (Barker et al., 2009; Burniaux et al., 1991; Nordhaus & Yohe, 1983). Ces modèles sont basés sur l'allocation des ressources économiques dans le long terme et sur la prise en compte des prix relatifs des facteurs de production avec une fonction CES (« Constant Elasticity of Substitution »), (Ekins, 1995).

Dans ces modèles, la consommation d'énergie et les émissions de CO<sub>2</sub> qui y sont liées évoluent avec la valeur ajoutée de chaque secteur de l'économie ainsi qu'avec l'évolution de l'intensité énergétique

dans ces secteurs. L'intensité énergétique dépend de l'évolution technologique<sup>24</sup> et des prix de l'énergie. En effet, dans ces modèles macroéconomiques, modèle avec une fonction de production de type KLEM<sup>25</sup>, l'énergie peut être substituée selon son prix relatif, par le capital, le travail ou les matières premières non énergétiques. L'essentiel du travail consiste alors à estimer l'élasticité de la demande d'énergie pour chaque secteur de l'économie en fonction des prix, éventuellement dépendants d'une taxe environnementale. Ces élasticités sont souvent estimées avec des techniques économétriques de cointégration mais les résultats demeurent très contrastés (Atkinson & Manning, 1995).



**Figure 58 : Interactions Économie/Environnement/Energie par rapport aux émissions de CO<sub>2</sub> et au réchauffement climatique. Les flèches indiquent la direction des flux d'énergie, des émissions et des biens et services. Les ovales représentent la conversion d'énergie. ESI : Electricity Supply Industry. Sources : (Barker et al., 1995)**

Afin d'analyser les conséquences d'une hausse des prix de production, deux autres types d'élasticités sont aussi calculés pour construire les modèles CGE ; les élasticités-prix et les élasticités d'Armington (Barker et al., 2009). Les élasticité-prix définissent la baisse de la demande en produits industriels selon la hausse des prix des produits des IGCE. Il suffit alors d'estimer la hausse des coûts liée à une augmentation des prix de l'énergie dans les secteurs industriels pour calculer la baisse de la demande. De nombreux facteurs influencent l'élasticité-prix d'un secteur comme la possibilité de substitution, le prix des produits par rapport aux revenus, la période de temps considérée, le degré de nécessité des produits et la nature du changement de prix. Il est également possible d'ajouter d'autres facteurs que les prix dans le calcul de cette élasticité de la demande. Les élasticités d'Armington représentent la

<sup>24</sup> Souvent étudié sous la forme d'un taux de déclin autonome avec le temps pour chaque secteur (Boone et al., 1995).

<sup>25</sup> Pour plus d'informations sur les modèles KLEM, voir (Hansen & Percebois, 2010).



substitution des produits domestiques par les produits importés en fonction de leur prix relatif. Cela suppose alors qu'un même produit n'est pas entièrement substituable s'il est importé ou s'il est fabriqué localement (Ecorys, 2009).

Cependant, comme pour les élasticités de la demande d'énergie, l'estimation de ces deux types d'élasticités est difficile avec notamment des problèmes d'endogénéité des prix. De plus, ces élasticités doivent être normalement calculées pour des produits précis, ce qui ne correspond pas au degré élevé d'agrégation utilisé dans les modèles numériques (Ecorys, 2009). Ces élasticités constituent donc la fragilité des modèles CGE, des conclusions extrêmement différentes peuvent apparaître selon la valeur de ces élasticités.

Les résultats de ces modèles ainsi que de la plupart des travaux sur l'impact d'une taxe environnementale ne peuvent pas directement s'appliquer à l'étude des effets d'une variation des prix de l'énergie. En effet, une taxe environnementale se distingue fortement d'une hausse des prix de l'énergie par la possibilité pour les gouvernements de réutiliser les fonds prélevés par cette taxe. Il est alors possible de les redistribuer dans l'économie de différentes manières, en diminuant les taxes sur le travail ou en réduisant les taxes sur la valeur ajoutée (TVA), par exemple. Ce principe de « revenue neutrality » permet de compenser la perte de compétitivité liée à l'instauration de la taxe carbone (Andersen, 2009; Ekins, 1995). Ce mécanisme n'est pas possible avec une variation des prix de l'énergie. Comme la plupart des travaux introduisent ce principe, leurs résultats ne sont pas comparables à ceux basés uniquement sur les prix de l'énergie.

La littérature sur la taxation environnementale introduit même la notion de double dividende. C'est-à-dire que l'instauration d'une taxe environnementale permet non seulement de réduire la pollution, externalité de la production industrielle, mais aussi de remplacer une autre taxe avec des effets de distorsion économique (ex. taxe sur le travail), (Andersen, 2009).

La problématique principale dans ce mécanisme de « revenue recycling » se situe dans la manière de redistribuer les fonds récoltés avec une taxe environnementale. « *Nevertheless even an ETS [environmental tax reform] associated tax shift will produce some structural effects, with some companies winning and others losing* » (Andersen, 2009, p.5). Notamment, avec une réduction des taxes sur le travail, les IGCE seraient les plus désavantagées du fait de leur relative faible intensité en main d'œuvre (Andersen & Ekins, 2009). Il est donc essentiel de pouvoir évaluer l'impact distributif d'une taxe carbone sur l'industrie manufacturière, afin d'élaborer un « revenue recycling » efficace. C'est une des applications présentées dans le troisième chapitre de cette thèse, grâce à l'étude du dioxyde de carbone contenu dans les produits manufacturés. Car l'effet d'une taxe carbone n'est pas uniquement sur les secteurs émetteurs mais également sur les secteurs consommant des biens intermédiaires ayant été taxés.

#### *Autres méthodes*

---

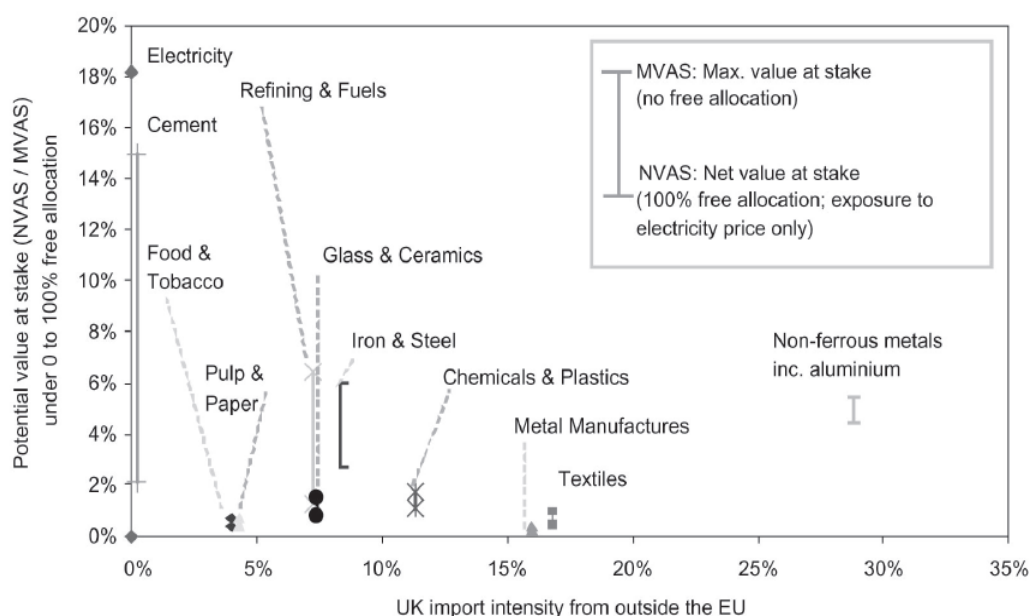
Les résultats des modèles sur une taxe environnementale sont difficilement généralisables à ceux sur une évolution des prix de l'énergie hors-taxe. Les études ex-post des taxes environnementales, basées sur l'analyse des observations et des comportements passés, sont rares ou souvent peu robustes. La principale limitation de telles études est liée au fait qu'il n'existe d'historique assez important pour les taxes environnementales transfrontalières. Les quotas d'émissions européens (EU-ETS) sont trop récents et sont difficiles à analyser à cause de la sur-allocation des quotas aux industriels lors des



premières phases. Le projet COMETR<sup>26</sup>, lancé par l'Union européenne, a eu pour but d'analyser l'effet des taxes environnementales implémentées dans certains pays européens avant les quotas d'émissions (ex. Allemagne, Suède, Danemark). Néanmoins, pour ces taxes, de nombreuses exemptions ont été appliquées pour protéger les IGCE : « *Taking into accounts exemptions, the effective carbon-energy tax rate for energy-intensive industries is at present closer to 1-2 €/tCO<sub>2</sub> for countries with environmental tax reforms* » (Andersen & Ekins, 2009, p.273 ). Avec de si faibles prix du CO<sub>2</sub>, il semble difficile de pouvoir déterminer un impact significatif sur la compétitivité des IGCE.

Diverses études s'appuient sur des indicateurs quantitatifs pour évaluer le risque de perte de compétitivité des IGCE, sans pour autant estimer de résultats chiffrés (Demailly et al., 2007; Gerald et al., 2009; Grubb & Neuhoff, 2006; McKinsey Company & Ecorys, 2006). Ces études développent des analyses très précises sur la structure industrielle d'une industrie et sur la concurrence internationale. Cela permet d'obtenir une description précise de la situation d'un secteur à un instant donné, mais cela ne permet pas de démontrer ou de quantifier les risques de pertes de compétitivité (Ecorys, 2009).

Grubb et Neuhoff (2006) considèrent que deux facteurs déterminent les risques de perte de compétitivité industrielle liée aux quotas d'émission européens (EU-ETS) : le niveau de compétition international, représenté par l'intensité des importations, et l'importance de la hausse des coûts, indiquée par l'impact potentiel des quotas sur la valeur ajoutée d'un secteur (Figure 59). Les cabinets McKinsey et Ecorys (2006) développent une analyse précise de la structure économique<sup>27</sup> de chaque secteur IGCE dans l'Union européenne. Les indicateurs pris en compte comprennent notamment la valeur des quotas d'émission de CO<sub>2</sub> (EU-ETS) pour chaque secteur à un prix de 20€/tCO<sub>2</sub>, le taux de transfert potentiel de cette hausse des coûts sur les prix, les performances de chaque secteur<sup>28</sup> et les flux d'échanges internationaux.



**Figure 59 : Risque de perte de compétitivité par secteur IGCE au Royaume-Uni en 2006 pour des quotas d'émission à 15€/tCO<sub>2</sub>, selon la part des quotas alloués gratuitement. De plus, il est supposé que l'électricité augmente de 10€/MWh.**

Sources : (Grubb & Neuhoff, 2006)

<sup>26</sup> The Competitiveness Effects of Environmental Tax Reform

<sup>27</sup> Demande, offre, type de concurrence, nombre et taille des acteurs dans un secteur.

<sup>28</sup> Résultats financiers, progrès technologique, productivité.

L'estimation des taux de transfert potentiels des coûts environnementaux est d'ailleurs un point prédominant dans ce type d'étude. C'est d'ailleurs le sujet principal des travaux économétriques de JF. Gerald et al. (2009). Ces auteurs évaluent le pouvoir de marché de chaque industrie IGCE dans six pays européens, c'est-à-dire la capacité à fixer les prix dans le marché. Plus une industrie est capable de fixer les prix malgré la concurrence internationale, moins elle risque de perdre en compétitivité avec une hausse asymétrique des coûts de production. Les auteurs évaluent ensuite la capacité d'amélioration de l'efficacité énergétique pour chaque industrie. Une industrie incapable de transférer la hausse des coûts sur les prix, ni de réduire sa consommation d'énergie est donc très vulnérable à une taxe sur les gaz à effet de serre, comme les métaux de base dans leur étude.

Enfin, quelques études sont construites à partir de modèles théoriques d'économie industrielle en situation oligopolistique. Notamment, D. Demailly et P. Quirion modélisent les IGCE, telles que la sidérurgie ou le ciment, avec des modèles de Cournot ou de Bertrand, en les intégrant ensuite dans des modèles numériques prenant en compte l'aspect géographique (Demailly & Quirion, 2006; 2008; Demailly, 2007).

Les indicateurs économiques et énergétiques utilisés dans ces études peuvent, en grande partie, être appliqués à l'étude du risque d'une hausse des prix de l'énergie sur la compétitivité des IGCE. Cependant, là encore, les résultats permettent principalement d'identifier les secteurs les plus menacés par une hausse des prix de l'énergie. Néanmoins, si beaucoup de travaux s'attachent à simuler l'effet d'une taxe environnementale sur les émissions de gaz à effet de serre, aucun n'étudie précisément les effets des prix ou des coûts de l'énergie sur l'industrie. Or, l'impact d'une hausse des prix de l'énergie se distingue d'une taxe environnementale par l'impossibilité de redistribuer les revenus d'une taxe, par les différences de variations entre types d'énergie et par des asymétries de prix importantes entre grandes régions du monde mais aussi entre les pays de l'Union européenne. Désormais, les secteurs IGCE les plus menacés par une hausse des prix de l'énergie sont clairement identifiés, il existe cependant un besoin de démonstration et de quantification de cet effet. Si le lien entre énergie et IGCE est connu, il reste à estimer l'ampleur de celui-ci.

### 1.3.4) CONCLUSION SUR LA NOTION DE COMPETITIVITE INDUSTRIELLE ET SON LIEN AVEC L'ENERGIE

La compétitivité est un concept très large avec de nombreuses interprétations. Il n'existe pas de définition économique de la compétitivité (Le Blanc, 2012). Malgré les diverses interprétations possibles, la compétitivité demeure une notion relative, d'évaluation d'une entité par rapport à d'autres. La compétitivité recouvre différents aspects économiques que l'on peut caractériser selon trois critères :

- **Le périmètre de la compétitivité** : Au niveau d'une nation, d'une industrie nationale, d'une entreprise ou d'un établissement.
- **Echelle de temps** : Analyse à court-terme (parts de marché, profitabilités) ou à long-terme (localisation de la production, de la valeur ajoutée).
- **Périmètre géographique** : Des entreprises ou des établissements rivalisent à l'échelle locale, nationale mais aussi continentale ou internationale. Les nations ou les industries nationales peuvent être compétitive sur le marché domestique face aux importations, mais aussi à l'internationale avec les exportations.

Pour chacun de ces critères, il existe de nombreux indicateurs de la compétitivité. Dans les travaux de cette thèse, il est donc nécessaire d'aborder la notion de compétitivité selon un angle précis. Afin d'étudier plus spécifiquement le rôle de l'énergie et de la régulation environnementale sur l'industrie, nous restreignons le terme de compétitivité à l'étude d'une industrie nationale dans le court terme, à la fois selon ses exportations et sa production. A cela s'ajoute une étude de la compétitivité des sites de production sidérurgiques dans le long terme au travers de l'analyse des changements de capacité.

Cette limitation de la notion de compétitivité restreint la portée de l'étude mais permet de clarifier l'objectif des travaux. Il est ainsi possible d'identifier et de décrire les déterminants potentiels de la compétitivité d'une industrie nationale à partir de l'analyse de la littérature économique. Ces facteurs sont alors classés en cinq grandes catégories et ordonnés selon la possibilité pour les acteurs industriels d'interagir sur leur évolution. Le choix dans cette thèse porte alors principalement sur l'étude de la compétitivité-prix, sur les facteurs de production comme la main d'œuvre, les matières premières et surtout sur l'énergie, tout en y intégrant des aspects liés à la structure économique et aux comportements des acteurs.

S'il est possible de classer l'énergie comme un facteur de production, il n'est pas uniquement dépendant des forces du marché comme pour les matières premières. L'énergie demeure un facteur fortement politique. Le contrôle de son évolution est essentiel pour les gouvernements, notamment par rapport à la hausse des prix de l'énergie, aux questions de sécurité d'approvisionnement et aux enjeux climatiques.

Si l'énergie a régulièrement été identifiée comme un déterminant important de la compétitivité de l'industrie dans des analyses qualitatives, il existe peu d'études quantifiées sur l'impact des prix de l'énergie. De nombreux travaux se sont intéressés aux effets de l'énergie sur l'industrie mais de manière indirecte, en étudiant les effets d'une taxe environnementale. Mais il se révèle que les effets d'une taxe environnementale ne sont pas directement comparables à ceux d'une hausse indépendante des prix de l'énergie, notamment par rapport au mécanisme de « revenue recycling » propre aux taxes environnementales. Il existe donc actuellement un besoin de démonstration et de quantification de l'impact des prix de l'énergie sur la compétitivité de l'industrie manufacturière.

## **CONCLUSION DU CHAPITRE I**

L'industrie manufacturière demeure un moteur de l'économie par son importance majeure dans les exportations et donc dans la balance commerciale, par son rôle dominant dans l'innovation et la R&D et par ses investissements, dans une moindre mesure. Cependant, avec la crise économique actuelle, son avenir semble incertain en France et dans l'Union européenne. En effet, à une demande en baisse, s'ajoute un phénomène de concurrence accrue des pays émergents, qui se traduit notamment par des délocalisations. L'industrie emploie de moins en moins de personnels, représente une part décroissante de la valeur ajoutée nationale et est frappée par de grandes fermetures emblématiques aux conséquences sociales importantes. Alors que les économistes analysaient précédemment ces tendances comme un des résultats de la réorganisation mondiale des spécialisations industrielles, les inquiétudes portent désormais sur une potentielle perte de substance de l'industrie française et européenne.

Dans ce contexte économique difficile, l'industrie doit également s'adapter à l'essor d'un nouveau paradigme énergétique. La réorientation mondiale des marchés de l'énergie vers les pays émergents implique une perte de contrôle des pays européens sur l'évolution des prix de l'énergie ainsi qu'un accroissement des tensions pour l'approvisionnement en énergie. Ce bouleversement de la demande mondiale en énergie, la Chine étant désormais le premier marché mondial pour l'énergie alors que les pays développés constituent désormais moins de la moitié de la demande mondiale en énergie finale, se traduit par une hausse rapide des prix de l'énergie depuis le début des années 2000. Néanmoins, l'offre mondiale semble suffisante pour le moment pour répondre à ces nouveaux besoins, même si de nouveaux investissements sont d'ores et déjà nécessaires, notamment dans l'exploitation des gaz non conventionnels. Mais, désormais, le risque principal n'est plus l'épuisement des ressources énergétiques mais le réchauffement climatique. Les conséquences du réchauffement climatique peuvent devenir considérables dans les prochaines décennies et actuellement rien de conséquent n'est mis en place pour limiter ce risque. Le manque de coopération internationale freine les initiatives unilatérales à cause des craintes d'une perte de compétitivité industrielle, liée à l'instauration d'une politique environnementale ambitieuse.

Ce contexte économique et énergétique nécessite l'adaptation rapide de l'industrie manufacturière française et européenne. Cependant, la chaîne de production industrielle est de plus en plus fragmentée. Les industries nationales européennes sont désormais interdépendantes les unes aux autres. L'industrie manufacturière européenne est très intégrée. La réponse aux enjeux actuels doit donc être européenne plus que nationale. Cependant, si un marché commun et une monnaie unique existent, les politiques de stratégie industrielle et énergétique européennes demeurent mineures ou incohérentes. Des objectifs communs sont nécessaires à l'industrie européenne afin d'encourager la coopération. Dans cette optique, il est essentiel de mieux comprendre les mécanismes économiques régissant l'industrie européenne, notamment par rapport à l'énergie.

Pour cela, il est important de comprendre la place de l'énergie dans l'industrie manufacturière. L'industrie constitue une part significative de la consommation d'énergie mondiale. Cette consommation de l'industrie est d'ailleurs en forte croissance dans les pays émergents depuis une dizaine d'années et demeure stable dans les pays développés. Par exemple, l'industrie manufacturière chinoise représente 11 % de la consommation mondiale d'énergie finale en 2011. Cependant, l'industrie manufacturière ne consomme pas l'énergie de manière homogène en Europe, il existe des

contrastes importants entre pays européens qui dépendent de la spécialisation industrielle et des différences d'efficacité énergétique. Inversement, l'énergie constitue une part importante des coûts de production dans un quart des industries. Pour ces industries, les achats de produits énergétiques représentent plus de 3 % de la valeur de production et plus de 10 % de la valeur ajoutée en Europe. Ces secteurs peuvent alors être identifiés comme des industries grandes consommatrices d'énergie (IGCE). Ce sont les secteurs industriels les plus dépendants de l'évolution des prix de l'énergie.

Néanmoins, ces IGCE ne constituent par pour autant un groupe homogène d'industries. L'analyse de la taille et donc de l'importance économique, de la structure des dépenses et des performances économiques des secteurs avec des achats importants d'énergie démontre une forte disparité des secteurs entre eux. On ne peut donc pas analyser la compétitivité de ces secteurs en agréant tous ces secteurs. Il est cependant possible de regrouper des secteurs IGCE dont la structure économique est moins hétérogène: la chimie de base, la sidérurgie, les produits minéraux non-métalliques, le papier et les métaux non-ferreux. Lorsque l'on analyse les performances de ces secteurs sur les marchés internationaux de sept pays de l'OCDE, proches économiquement, des écarts importants apparaissent entre pays. La compétitivité internationale de ces industries ne dépend donc pas uniquement d'une distinction Nord/Sud ou pays émergents/pays développés, mais également à des facteurs internes à ces pays.

Face aux changements climatiques, l'industrie manufacturière a démontré ces dernières années qu'elle été capable de s'adapter, d'améliorer son efficacité énergétique et de réduire ces émissions de gaz à effet de serre. Mais cette adaptation ne semble pas suffisante, même si elle se poursuit à un rythme similaire, pour réduire le risque de réchauffement climatique. En effet, la demande en produits industriels est en très forte croissance dans le monde, ce qui remet en cause les scénarios les plus pessimistes de réduction des émissions pour limiter le réchauffement climatique à 2°C ou 3°C. Des investissements très importants dans l'industrie sont nécessaires pour pouvoir espérer inverser la tendance actuelle. Cependant, que représente l'impact de ces investissements, en termes de compétitivité pour l'industrie manufacturière, si aucune coopération internationale n'est mise en place ?

Pour répondre à cette question, il est important de mieux définir la notion de compétitivité de l'industrie manufacturière. Il n'existe pas de définition économique de la compétitivité. L'étude de l'impact des prix de l'énergie sur l'industrie nécessite donc de restreindre cette notion aux aspects les plus pertinents de la compétitivité des IGCE. Dans ces travaux, le choix est alors d'étudier la compétitivité d'une industrie nationale sur le court-terme à la fois sur les marchés domestiques et à l'international. De plus, une étude complémentaire sur les sites de production impose d'étudier la compétitivité d'un site de production sur le long terme. Il est alors possible d'identifier et de classer les déterminants potentiels de cette notion restreinte de la compétitivité. Cette étape du travail permet de situer et de définir les limites des travaux de cette thèse. Ainsi, l'accent porte principalement sur la comparaison de l'effet des facteurs de production sur la compétitivité des IGCE.

Néanmoins, l'énergie est un facteur de production particulier, car très dépendant des décisions politiques. L'évolution des prix de l'énergie ne dépend pas uniquement des marchés mais aussi de la régulation gouvernementale. Il existe un lien spécifique entre l'énergie et la compétitivité industrielle. Cependant, si ce lien est reconnu dans les analyses économiques et stratégiques qualitatives, il demeure peu étudié dans la littérature économique, si ce n'est de manière indirecte avec l'évaluation des politiques environnementales. Il existe donc un besoin de démonstration et de quantification de l'impact des prix de l'énergie sur la compétitivité de l'industrie manufacturière.

---

## **CHAPITRE II**

# **QUANTIFICATION EMPIRIQUE DE L'IMPACT DES PRIX DE L'ENERGIE**

---

## **SOMMAIRE DU CHAPITRE II**

<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>123</b>
<b><u>2.1) UN CADRE METHODOLOGIQUE POUR ETUDIER LES DETERMINANTS DE LA COMPETITIVITE .....</u></b>	<b>124</b>
<b>2.1.1) Une approche économétrique déterminée par l'échelle d'étude.....</b>	<b>124</b>
2.1.1.1) Méthodes d'analyse du lien entre compétitivité, énergie et environnement dans la littérature .....	125
i. Les études de cas.....	125
ii. Les modèles numériques .....	126
iii. Les modèles économétriques.....	131
2.1.1.2) Choix d'une méthodologie économétrique .....	132
<b>2.1.2) Définition du cadre sectoriel, géographique et temporel des travaux.....</b>	<b>134</b>
2.1.2.1) Choix des secteurs étudiés : le papier et la sidérurgie.....	134
2.1.2.2) Une échelle géographique mondiale centrée sur les pays industrialisés .....	136
2.1.2.3) Une période avec une conjoncture économique stable mais de transition pour les producteurs d'acier et de papier .....	138
<b>2.1.3) Acier et Papier : Deux secteurs en transition .....</b>	<b>139</b>
2.1.3.1) Situation économique.....	139
i. La compétitivité de la sidérurgie mise à l'épreuve par des conditions exceptionnelles .....	139
ii. L'industrie du papier se transforme malgré une demande en croissance .....	144
2.1.3.2) Structure de l'industrie sidérurgique.....	149
i. La demande.....	149
ii. L'offre .....	155
2.1.3.3) Le commerce et la compétitivité internationales.....	162
i. Un équilibre relatif des marchés mondiaux dans la sidérurgie .....	162
ii. Une concurrence internationale accrue dans le papier.....	164
<b>2.1.4) L'énergie dans les coûts de production des industries de l'acier et du papier .....</b>	<b>166</b>
2.1.4.1) L'énergie dans la sidérurgie : Deux procédés très distincts .....	166
2.1.4.2) L'énergie dans l'industrie du papier.....	172
<b><u>2.2) EFFETS DES COUTS DE L'ENERGIE SUR LES ECHANGES INTERNATIONAUX DE PRODUITS MANUFACTURES .....</u></b>	<b>176</b>
<b>2.2.1) Dans la littérature, des modèles de gravité qui s'orientent vers des études sectorielles .</b>	<b>176</b>
<b>2.2.2) Construction des modèles de gravité des échanges internationaux pour les industries du papier et de l'acier.....</b>	<b>179</b>
2.2.2.1) Prise en compte des coûts de l'énergie dans les industries du papier et de la sidérurgie .....	179
2.2.2.2) Spécification du modèle de gravité .....	181
2.2.2.3) Méthodes d'estimation des modèles de gravité.....	184



### **2.2.3) Comparaison du rôle des coûts de l'énergie dans les échanges de produits manufacturés : Ressemblances et divergences entre les industries du papier et de l'acier .....187**

2.2.3.1) Description des résultats économétriques .....	187
i. Résultats pour les variables traditionnelles des modèles de gravité.....	187
ii. Résultats pour l'énergie.....	189
2.2.3.2) Application : Estimation de l'impact des coûts de l'énergie sur les exportations.....	192
i. Papier .....	193
ii. Sidérurgie.....	200

### **2.2.4) Conclusion sur l'effet des coûts de l'énergie sur les échanges internationaux .....204**

## **2.3) POIDS RELATIF DES COUTS DE L'ENERGIE DANS LA COMPETITIVITE DE LA PRODUCTION NATIONALE DES INDUSTRIES DU PAPIER ET DE L'ACIER .....206**

### **2.3.1) L'abondance des ressources et la proximité des marchés au cœur des précédentes recherches.....206**

2.3.1.1) Etudes des déterminants des avantages comparatifs et du solde des échanges.....	207
2.3.1.2) Etudes comparatives des facteurs de localisation des industries du papier/acier.....	208
2.3.1.3) Etudes spécifiques sur l'impact des coûts de l'énergie dans les industries IGCE.....	212

### **2.3.2) Construction d'un modèle d'analyse en données de panel sur les industries du papier et de l'acier .....213**

2.3.2.1) Définition du modèle.....	213
2.3.2.2) Description des variables explicatives .....	214
i. Caractérisation de la demande.....	215
ii. Coûts et abondances des facteurs de production.....	215
iii. Productivité .....	216
iv. Ouverture du marché.....	217
2.3.2.3) Descriptions statistiques des données .....	217
2.3.2.4) Méthodes d'estimation du modèle sur la production .....	219

### **2.3.3) Résultats : L'énergie n'est pas le principal déterminant de la localisation de la production des industries du papier et de l'acier .....222**

2.3.3.1) Résultats de l'estimation économétrique.....	222
i. Des industries fortement liées à la demande domestique.....	226
ii. Les matières premières : Des effets très différents selon les industries.....	226
iii. L'enjeu des salaires au niveau international.....	228
iv. La productivité et la formation des travailleurs, des leviers essentiels de la compétitivité.....	228
v. Des coûts de l'énergie significatifs mais à l'influence modérée.....	229
vi. Une ouverture des marchés augmentant la contrainte compétitive.....	230
2.3.3.2) Comparaison de l'effet des facteurs de compétitivité .....	230
i. Importance des ressources dans l'industrie du papier .....	232
ii. La productivité et les salaires : enjeux majeurs de la sidérurgie .....	233
2.3.3.3) Analyse des déterminants de la compétitivité dans différents pays .....	235
i. L'industrie du papier .....	235
ii. L'industrie sidérurgique .....	238

### **2.3.4) Conclusion sur la comparaison des déterminants de la compétitivité dans les industries du papier et de l'acier .....240**

<b>2.4) LE ROLE DE L'ENERGIE DANS L'EVOLUTION DES CAPACITES DE PRODUCTION DE LA SIDERURGIE .....</b>	<b>242</b>
<b>2.4.1) Bibliographie : Des modèles utilisés pour étudier la survie des entreprises .....</b>	<b>242</b>
2.4.1.1) De l'étude sur la survie des nouveaux entrants à la généralisation des modèles .....	242
2.4.1.2) Les modèles sur les changements de capacité dans l'industrie sidérurgique .....	244
2.4.1.3) Deux types de méthodes : Orientation des choix méthodologiques .....	246
<b>2.4.2) Construction des modèles de changements de capacité pour une application sur la sidérurgie au niveau mondial .....</b>	<b>247</b>
2.4.2.1) Un modèle de choix ordonné sur les changements de capacité dans les usines.....	249
i. Méthodes d'estimation .....	249
ii. Choix et définitions des variables .....	250
iii. Spécification et estimation du modèle économétrique .....	257
2.4.2.2) Choix d'un modèle de survie pour estimer les facteurs de fermeture des fours sidérurgiques .....	258
i. Méthodes d'estimation du modèle de survie .....	258
ii. Choix et définitions des variables pour le modèle de survie.....	260
iii. Spécification et estimation du modèle économétrique de survie des fours sidérurgiques .....	265
<b>2.4.3) Résultats : Des prix élevés de l'énergie augmentent les risques de fermeture des capacités sidérurgiques.....</b>	<b>266</b>
2.4.3.1) La taille des capacités a un effet primordial sur la localisation des changements de capacité.....	266
2.4.3.2) Prise en compte de l'âge technique dans les choix de fermeture des fours à arc électrique dans la sidérurgie.....	276
<b>2.4.4) Conclusion de l'étude sur l'évolution des capacités de production .....</b>	<b>283</b>
<b>CONCLUSION DU CHAPITRE II .....</b>	<b>285</b>

## INTRODUCTION

L'étude du rôle de l'énergie dans la compétitivité des industries grandes consommatrices d'énergie peut être réalisée au travers d'études de cas, de modèles économiques théoriques ou de simulations numériques. Cependant, la portée de ces travaux est limitée par une prise en compte difficile de la concurrence internationale et par l'utilisation de mécanismes théoriques trop généraux, ne s'appliquant pas forcément à ces industries. En effet, les industries grandes consommatrices d'énergie opèrent souvent dans une situation de concurrence imparfaite et sont caractérisées par des marchés oligopolistiques, des barrières à l'entrée et à la sortie élevées, des économies d'échelles importantes et une forte inertie des capacités de production. Avant de modéliser et de prévoir la réaction des acteurs face à de nouveaux prix de l'énergie ou à de nouvelles politiques environnementales, il est pertinent de comprendre la rationalité des comportements observés dans un passé proche. L'étude empirique de l'évolution de ces industries face aux mouvements des prix de l'énergie, mais également face aux conditions économiques est alors une première étape essentielle à l'analyse de scénarios énergétiques prospectifs.

L'étude des mécanismes de réaction de l'industrie IGCE face à l'évolution des prix de l'énergie constitue donc l'essentiel des travaux de cette thèse. Or, comme il a été introduit dans le chapitre précédent, la notion de compétitivité se décline sous différentes formes propres à chaque dimension géographique ou sectorielle de l'industrie. Il est alors important d'analyser s'il existe un effet commun de l'énergie sur ces différentes dimensions et de qualifier les différences d'impact le cas échéant. Dans ce but, trois études distinctes mais complémentaires sont réalisées. En introduction, une analyse complète de la situation économique et concurrentielle dans les secteurs étudiés est présentée. La première étude analyse la répartition des flux d'échanges commerciaux des produits des IGCE au niveau international et la déviation qu'imposent des asymétries dans les coûts de l'énergie par rapport à une situation « normale ». La seconde étude porte sur la localisation de la production des IGCE au niveau des industries nationales. L'objectif est alors d'identifier et de pondérer les déterminants de la compétitivité pour une industrie nationale. Il est nécessaire de comparer l'impact de l'énergie par rapport à d'autres facteurs de compétitivité. Il est alors possible de mieux appréhender l'importance relative de l'énergie. Enfin, la dernière étude se concentre sur la compétitivité au niveau des usines et des fours par l'observation des changements de capacité. En plus, des déterminants de la compétitivité introduits dans les études précédentes, des caractéristiques propres à chaque site de production sont analysées.

Chacune de ces études se base sur une méthodologie économétrique spécifique afin de décrire statistiquement les évolutions passées. Un travail important de récupération et de mise en forme des données économiques est préalable à ces analyses économétriques. Il est nécessaire d'adapter cette méthodologie selon le niveau d'analyse, la problématique ainsi que la nature des données. Dans la première partie, les travaux sont basés sur un modèle de gravité des échanges commerciaux. Ensuite, un modèle en données de panel sur la production dans chaque pays et sur plusieurs années est développé. Dans ce cas, de nombreuses hypothèses de base de l'économétrie ne sont pas respectées ; des corrections importantes sont donc indispensables. Enfin, deux méthodes différentes sont utilisées pour étudier les changements de capacité : une méthode logistique ordonnée et un modèle de survie semi-paramétrique. Toutes ces études reposent sur une base de données commune sur environ 30 pays répartis dans le monde et couvrant une période d'à peu près dix ans, de 1995 à 2006.

Seuls deux secteurs sont analysés dans ce chapitre : l'industrie du papier et la sidérurgie. Il ne semble pas pertinent d'agréger tous les secteurs IGCE dans un même ensemble. En effet, les produits, les marchés et les procédés de production sont trop dissemblables d'une industrie à une autre. Notamment, les caractéristiques de la consommation d'énergie sont propres à chaque secteur IGCE. Il n'a pas non plus été possible d'étudier tous les secteurs IGCE, par manque de données et de temps. Toutefois, l'avantage d'étudier deux secteurs est de pouvoir déterminer la présence de points communs ou de divergences dans les déterminants de la compétitivité. La similarité de la plupart des résultats entre ces deux secteurs peut permettre d'envisager l'extension des résultats à l'ensemble de l'industrie IGCE.

## **2.1) UN CADRE METHODOLOGIQUE POUR ETUDIER LES DETERMINANTS DE LA COMPETITIVITE**

### **2.1.1) UNE APPROCHE ECONOMETRIQUE DETERMINEE PAR L'ECHELLE D'ETUDE**

Il existe de nombreuses manières d'étudier la compétitivité de l'industrie dans son ensemble ou d'un secteur en particulier. Le choix de ces méthodes dépend de la définition utilisée pour la notion de compétitivité et de l'objectif de l'étude. En effet, la compétitivité ne peut pas être étudiée dans son ensemble avec une seule méthode, du fait de ces différentes définitions et de l'échelle géographique et économique avec laquelle on l'analyse.

L'objet de cette thèse consiste principalement à comprendre le lien entre le facteur de production que constitue l'énergie avec la compétitivité de l'industrie manufacturière, essentiellement des industries grandes consommatrices d'énergie (IGCE). Les modèles théoriques ainsi que les analyses sectorielles des acteurs des IGCE mettent déjà en évidence le rôle de l'énergie dans la compétitivité (Aldy & Pizer, 2009; Gerlarch & Mathys, 2011; Navarro, 1990). Des coûts plus élevés de l'énergie dans la production réduisent les parts de marché d'une industrie nationale à l'exportation. Mais, ces études quantifient rarement l'impact d'une hausse des coûts de l'énergie relative aux autres pays et ne le comparent pas à celui des autres facteurs de production<sup>29</sup>. Le choix de la méthode doit donc répondre à cet objectif précis. Les méthodes économétriques permettent de répondre aux problématiques suivantes : démonstration et quantification de l'effet des coûts de l'énergie sur l'industrie et pondération par rapport à d'autres déterminants tels que les salaires, la productivité ou l'âge technique des moyens de production.

Comme présenté auparavant, la compétitivité peut se définir sur plusieurs niveaux, de l'usine, de l'entreprise, d'une industrie ou d'une économie nationale. Le type de marché, domestique ou international, implique également des facteurs de compétitivité différents. Afin de comprendre et d'estimer ces différents niveaux de compétitivité, plusieurs études économétriques sont réalisées. Chacune est adaptée à chaque échelle ainsi qu'aux données disponibles.

---

<sup>29</sup> La plupart des études se concentrent sur les conséquences d'une régulation environnementale, et plus particulièrement d'une limitation des émissions de dioxyde de carbone. L'impact de l'asymétrie des prix de l'énergie entre pays constitue rarement le cœur de ces travaux.

### 2.1.1.1) METHODES D'ANALYSE DU LIEN ENTRE COMPETITIVITE, ENERGIE ET ENVIRONNEMENT DANS LA LITTERATURE

---

Afin d'expliquer le choix des méthodes économétriques, une revue des méthodes utilisées dans la littérature sur le lien entre compétitivité, énergie et environnement est nécessaire. Cela permet alors d'introduire les avantages et les informations fournis par chaque méthode ainsi que leurs limites.

Ces méthodes peuvent être séparées en trois groupes distincts : les études de cas, les modèles théoriques et les modèles empiriques (économétrie). Le premier groupe de travaux utilise des entretiens avec les acteurs du marché, des descriptions d'événements et de situations précises ainsi que des analyses non quantitatives. Les conclusions de ces études sont souvent plus précises mais demeurent qualitatives et difficiles à généraliser à un secteur industriel ou à d'autres situations.

Les analyses du second groupe se basent sur des modèles numériques pour prévoir l'effet des évolutions futures des prix de l'énergie ou de l'introduction d'une politique de régulation. Les mécanismes de ces modèles sont soit issus de travaux économiques théoriques, comme les modèles de concurrence de Cournot ou de Bertrand, soit répondent à une optimisation linéaire. Les résultats de ce groupe de modèles sont souvent flexibles et permettent d'estimer efficacement différents scénarios. Néanmoins, la robustesse de ces conclusions repose fortement sur les hypothèses de construction de ces modèles. En outre, les phénomènes en jeu durant la simulation sont parfois peu explicites, il est difficile de comprendre ce qui détermine le résultat final.

Enfin le dernier groupe, les études économétriques, utilise des méthodes statistiques sur des données d'événements passés pour décrire, prévoir ou mettre en lumière les liens de causalité. L'avantage est de pouvoir étudier et estimer un mécanisme avec précision. Cependant, les résultats restent liés à une période, à un espace géographique et à une échelle précis. On ne peut prévoir des comportements qui n'ont pas eu lieu dans le passé. Par exemple, la période actuelle de crise financière crée des conditions économiques particulières pour l'industrie dans lesquelles les résultats économétriques obtenus sur des périodes antérieures sont difficilement utilisables.

#### i. Les études de cas

---

Ces travaux permettent d'identifier les déterminants de la localisation des entreprises. L'avantage des enquêtes et des études de cas réside dans la possibilité d'analyser le rôle de nombreux facteurs, dont certains ne peuvent être décrits que sous forme qualitative. Par exemple, pour évaluer la régulation environnementale d'un pays, sans prix précis sur le CO<sub>2</sub>, une estimation du niveau de contrainte ressenti par les industriels semble plus pertinente qu'une mesure quantitative regroupant de multiples lois et mesures. Les principaux défauts de ces méthodes sont que les acteurs interrogés savent qu'ils peuvent influencer une politique les concernant par leurs réponses, que seules les firmes existantes peuvent être questionnées et que les choix donnés par les auteurs de l'enquête peuvent modifier les réponses (Blair & Premus, 1987). De plus, les études de cas ne permettent pas de mesurer l'impact précis de ces déterminants, ni de les comparer entre eux de manière robuste.

Le magazine Fortune a conduit une étude assez large sur les facteurs de décision de localisation des industries aux Etats-Unis en 1977, sur un échantillon d'environ 1000 entreprises, en intégrant vingt-six

facteurs différents. La présence de marchés pour leurs produits, l'accès aux matières premières ainsi que la disponibilité de la main-d'œuvre sont apparus comme les facteurs les plus souvent cités (Fortune, 1977). Ces facteurs ainsi que la présence d'un réseau logistique développé apparaissent également comme essentiels dans les travaux de Kieschnick sur les entreprises en croissance. Des raisons personnelles liées aux décideurs sont également importantes dans le choix de la décision de localisation, notamment par rapport à la qualité de vie (Kieschnick, 1981). Au niveau de la régulation environnementale, HA. Stafford a contacté 162 directeurs d'usine pour démontrer que cette nouvelle contrainte n'avait pas modifié leur choix de localisation des investissements (Stafford, 1985). Enfin, d'autres facteurs de choix sont significatifs comme les taxes, le niveau d'éducation et le climat des affaires (Blair & Premus, 1987). Ce type de déterminants, souvent qualitatifs, peut difficilement être pris en compte par des méthodes économétriques.

Afin d'évaluer les risques de perte de compétitivité de l'industrie manufacturière avec l'instauration d'une taxe carbone ou de quotas d'émissions, des études sectorielles comparant des données économiques entre secteurs ont été réalisées. Ces travaux confrontent la valeur des quotas par rapport à la valeur ajoutée des secteurs, à l'intensité des importations, à l'élasticité-prix de la demande, au taux de transfert en fonction de la structure de marché, aux tarifs douaniers et aux coûts de transport (Demailly, 2007; Grubb & Neuhoﬀ, 2006; McKinsey & Company/Ecofys, 2006; Reinaud, 2005). Bien que pertinentes, ces analyses prennent en compte ces facteurs séparément, sans les réunir. Cela fournit alors un descriptif rapide des effets potentiels d'une contrainte carbone sur la compétitivité mais cela n'apporte pas de conclusion générale.

## ii. Les modèles numériques

---

De multiples modèles sur les industries grandes consommatrices d'énergie sont apparus dans la littérature suite au protocole de Kyoto et à la mise en place des quotas d'émissions dans l'Union européenne. Pour répondre de façon rigoureuse aux incertitudes sur la compétitivité, les auteurs ont simulé et quantifié l'évolution de ces industries face à de nouvelles contraintes. Ces modèles permettent la plupart du temps de calculer l'évolution de la production et des profits des industriels. Les méthodes utilisées sont diverses. On peut distinguer quatre groupes de simulation :

- *Les modèles de concurrence oligopolistique* : Ils se basent sur les théories d'économie industrielle pour simuler le comportement des acteurs face à une hausse des coûts (Cournot/Bertrand).
- *Les modèles d'optimisation linéaire* : Ces modèles utilisent la programmation numérique pour optimiser la localisation de la production en fonction des coûts selon des contraintes de demande et de commerce internationale prédéfinies.
- *Les modèles en dynamique des systèmes* : L'avantage de ces modèles est d'intégrer des effets rétroactifs, des délais et la non-linéarité dans la modélisation des comportements des acteurs d'un secteur. Ils sont particulièrement appropriés pour étudier des événements sans précédent historique avec des effets de rétroaction difficiles à prévoir (Bassi et al., 2009).
- *Les modèles utilisant les élasticités d'Armington* : Ce type de modèle inclut, entre autres, les modèles d'équilibre général calculable<sup>30</sup> (CGE), (Martin & Ottaviano, 1999). Ce sont des

---

<sup>30</sup> Les modèles d'équilibre général calculable proposent une modélisation macro-économique de l'effet de différentes politiques. On les présente souvent comme des méthodes « Top-Down ». Ils reproduisent une

modèles utilisant l'hypothèse des élasticités d'Armington, liant les prix des produits domestiques et étrangers, pour déterminer le taux d'importation dans un pays (Encart 1). Les élasticités sont estimées par des études économétriques, mais les résultats demeurent peu robustes et extrêmement sensibles au choix des élasticités<sup>31</sup>. De plus, les modèles d'équilibre général calculables n'utilisent pas une description détaillée des secteurs industriels. Souvent, les élasticités de la demande ou d'Armington sont communes à plusieurs grands secteurs de l'industrie manufacturière, ex. GTAP (Narayanan et al., 2008).

Certains points de modélisation apparaissent régulièrement au travers de ces groupes et constituent des points critiques de la modélisation numérique sur l'influence des prix de l'énergie ou des contraintes environnementales. Le pouvoir de marché des industriels, le taux de transfert d'une hausse des prix, les élasticités-prix (demande et substitution) et les abattements d'émissions possibles grâce aux technologies sont souvent l'objet des principales hypothèses. Ces mécanismes dépendent fortement du choix des modélisateurs. Comme ce choix repose rarement sur des analyses empiriques, et peut avoir une influence considérable, il est souvent le point faible des modèles numériques. Le tableau 4 présente les principales caractéristiques différenciant une sélection de modèles de la littérature scientifique sur le lien entre les prix de l'énergie, la régulation environnementale et la compétitivité des industries grandes consommatrices d'énergie. Ces différents mécanismes sont décrits par les points suivants :

- *Périmètre sectoriel et géographique* : La sidérurgie, le ciment et l'aluminium sont les secteurs les plus souvent étudiés car ils sont très énergivores, sensibles à la concurrence internationale et leurs produits peuvent être considérés comme plus ou moins homogènes. En outre, plus de données sont disponibles pour ces secteurs que pour d'autres IGCE. L'échelle d'étude est soit européenne soit mondiale.
- *Concurrence internationale* : Il existe trois principales manières de représenter la concurrence internationale. D'abord, l'optimisation dans laquelle la production et les investissements sont simplement effectués là où les coûts sont les plus faibles. Tout se passe comme dans un marché compétitif parfait (Bassi et al., 2009). Seules les contraintes de capacité limitent les évolutions. Ensuite, plusieurs modèles utilisent les élasticités d'Armington (Encart 1). Ces élasticités traduisent une plus ou moins grande préférence des consommateurs d'un pays pour les produits locaux malgré une possible différence de prix avec les produits étrangers. Basés sur des observations passées, ces élasticités permettent des modélisations plus réalistes mais ne sont pas toujours estimées de manière robuste. Elles reposent souvent sur des agrégations de produits et sont essentiellement calculées pour les Etats-Unis (Demailly, 2007). Enfin, des auteurs utilisent des modèles d'économie industrielle (Cournot ou Bertrand) pour simuler cette concurrence internationale.

---

économie à l'équilibre sur la base d'ajustement par les prix et les quantités sur les facteurs de production (Djemaa, 2009). Les autres modèles numériques sont décrits comme des études sectorielles en équilibre partiel.

<sup>31</sup> Beaucoup d'économistes considèrent que les élasticités sont trop faibles par rapport à la réalité. Un des problèmes principaux est la simultanéité des quantités et des prix dans les échanges, ce qui implique un biais dans les résultats d'estimation. De plus, ces estimations se basent souvent uniquement sur des données relatives aux USA. Néanmoins, plus l'analyse porte sur des données industrielles désagrégées, plus l'estimation devient robuste. L'utilisation de variables instrumentales et d'équations simultanées permet également d'améliorer les estimations. De nouvelles études semblent donner des résultats plus robustes, tenant compte de la différenciation des produits au niveau de l'entreprise (Hummels, 1999), (Erkel-Rousse & Mirza, 2002). Cette méthodologie s'adapte ainsi aux concepts des nouvelles théories de l'échange international, mais complexifie beaucoup l'étude (McDaniel & Balistreri, 2002).



- *Coût des transports* : Le coût des transports est fréquemment intégré afin de pondérer les différences de coûts entre producteurs locaux et étrangers. Ce sont souvent des matrices de distances ou de coûts entre différentes grandes régions qui sont préprogrammées. Néanmoins, Demailly et al. ont développés un modèle « GEO » très détaillé, représentant plusieurs milliers de zones à travers le monde (Demailly & Quirion, 2006). Chacune est un marché distinct (avec concurrence en modèle Cournot). Les transports sont ainsi très précisément modélisés avec une distinction entre les transports maritimes et les transports routiers. Gielen et Maestad ont également ajoutés les barrières tarifaires aux coûts de transports (Erkel-Rousse & Le Gallo, 2002; Maestad, 2003).
- *Demande domestique* : La demande est représentée de trois façons. Dans tous les cas, elle est toujours homogène, aucun modèle ne segmente la demande. Le plus simple étant de la considérer la demande comme constante ou fixée de manière exogène. Ensuite, d'autres modèles intègrent une courbe demande-prix; les consommateurs achetant moins si les prix augmentent. Cette courbe est soit linéaire soit iso-élastique. Enfin, la demande peut dépendre à la fois du prix mais aussi de l'évolution du PIB par habitant dans le pays. La courbe de la demande en fonction du PIB par habitant étant souvent sous la forme d'un  $U$  inversé.
- *Structure industrielle* : Le pouvoir de marché des industriels n'est pas défini dans les modèles utilisant la programmation linéaire et l'optimisation. Cependant, cette optimisation reflète souvent l'hypothèse d'une concurrence parfaite. Les autres modèles utilisent soit un marché en concurrence parfaite soit un oligopole. Pour ces oligopoles, c'est toujours un modèle de Cournot qui est préféré. Demailly et al. utilisent un mélange de types de compétition dans son modèle GEO (Demailly & Quirion, 2006). Sur chacun des marchés, les acteurs locaux sont en compétition à la Cournot mais la concurrence internationale est modélisée par un modèle de Bertrand.
- *Technologie* : La technologie et les innovations possibles pour réduire les consommations d'énergie ou les émissions de CO<sub>2</sub> sont représentées de manières très différentes dans les modèles. Ainsi les technologies ne sont simplement pas détaillées dans certains modèles. D'autres études utilisent des courbes d'abattement déjà établies dans la littérature. Enfin, certains modèles (« bottom-up ») décrivent les innovations et les procédés de manière très précise. Ces modèles mettent ainsi souvent en concurrence plusieurs types de procédés actuels et futurs.
- *Capacités de production* : Les contraintes en capacité sont souvent mais pas systématiquement intégrées. Ces capacités peuvent soit être fixes, soit évoluer en fonction de la demande dans un pays. L'évolution de la capacité représente la compétitivité à long terme des industries. La production et le profit décrivent le court-terme (Demailly, 2007). Les décisions d'investissement sont plus ou moins détaillées. Dans les modèles de Szabo et de Hidalgo, les investissements sont liés à la répartition des parts de marché parmi les différents pays (Hidalgo et al., 2005; Szabo et al., 2006). Demailly et al. ont amélioré cette modélisation dans leur modèle « GEO ». Les décideurs investissent dans de nouvelles structures de production si cela permet de rembourser les coûts d'investissement selon les productions que ceux-ci prédisent.
- *Différenciation des produits* : Aucun des modèles ne prend en compte la différenciation des produits. Tous considèrent un produit homogène pour l'acier, l'aluminium ou le ciment. Seul

Maestad effectue une distinction réelle entre les aciers provenant des hauts-fourneaux et ceux provenant des arcs électriques considérés comme de moindre qualité (Maestad, 2003).

### Spécification d'Armington

La spécification d'Armington modélise les préférences des consommateurs d'un pays pour les produits selon leur origine de production. Cette élasticité diminue l'effet du prix dans les échanges bilatéraux. Ainsi l'utilité d'un produit pour un consommateur est représenté par la fonction suivante, (Gallaway, McDaniel, & Rivera, 2003) :

$$C = \alpha * \left[ \beta * M^{[(\sigma-1)/\sigma]} + (1 - \beta) * D^{[(\sigma-1)/\sigma]} \right]^{\sigma/(\sigma-1)} \quad (2)$$

*C : Utilité de la consommation du produit pour le consommateur*

*M : Quantité de produits importés*

*D : Quantité de produits domestiques*

*$\sigma$  : Elasticité constante de substitution entre les produits domestiques et importés*

*$\alpha$  et  $\beta$  : Constantes calibrées*

Lorsque le consommateur optimise son utilité de consommation, on obtient alors le rapport :

$$\frac{M}{D} = \left[ \frac{\beta}{1-\beta} * \frac{p_d}{p_m} \right]^{\sigma} \quad (3)$$

*$p_d$  et  $p_m$  : Prix du produit domestique et importés respectivement*

Pour le calcul des élasticités d'Armington d'un produit d'un pays, généralement quatre séries de données sont utilisées : les importations, les ventes sur le marché domestique et les prix de ces deux groupes de produits. Pour obtenir le prix des produits d'importations, la valeur monétaire des importations est divisée par leur quantité physique. Ainsi une valeur unitaire moyenne des produits à l'importation est obtenue. Le prix de la production domestique est représenté par l'indice de prix à la production donné par les instituts statistiques (Gallaway, McDaniel, & Rivera, 2003).

Les élasticités d'Armington sont très souvent utilisées dans les modèles d'équilibre partiel et général des échanges internationaux. Ces modèles sont très sensibles à la quantification de ces élasticités qui représentent la préférence des consommateurs nationaux pour la production domestique vis-à-vis des importations : « *A modeller's Armington choice will drive key quantitative, and sometimes qualitative, results that policymakers use* » (McDaniel & Balistreri, 2002). Ils existent des élasticités à court terme et d'autres à long terme (les élasticités de long terme étant plus élevées et plus adaptées pour étudier l'effet de changement de politique ou de structure de prix).

### **Encart 1 : Spécification d'Armington**

	(Maestad, 2003)	(Gielen, et al., 2002)	(Manne, et al., 1994)	(Ponssard, et al., 2008)	(Demailly, et al., 2008)	(Demailly, et al., 2008)	(Demailly, et al., 2006)	(Smale, et al., 2006)	(Szabo, et al., 2006)	(Hidalgo, et al., 2005)
<b>Secteurs</b>	Acier	Acier	Aluminium	Ciment/Homogène	Acier	Ciment, Aluminium, Acier, Electricité/Homogène	Ciment	Ciment, Papier, Raffinage, Acier, Aluminium	Ciment	Acier
<b>Echelle</b>	Monde	Monde	Monde	Europe	UE	UE	Monde	UK	Monde	Monde
<b>Transport</b>	Oui + Barrières tarifaires	Oui + Barrières tarifaires	Oui	Séparation Côtes/intérieur et pays en UE	Non	Non	Milliers de marchés reliés	Non	Non	Non
<b>Différentiation des produits</b>	Aciers des fourneaux et des arcs électriques	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non
<b>Demande</b>	Elastique	Elastique	Inélastique	Linéaire	Elastique	Linéaire	Linéaire	Demande linéaire	U inversé (GDP/Population) et prix	U inversé (GDP/Population) et prix
<b>Concurrence internationale</b>	Armington	Optimisation	Optimisation	Non	Armington	Armington	Bertrand	Mixte/Simple	Simple	Simple
<b>Contraintes de capacité</b>	Oui mais fixe	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Non	Oui	Oui
<b>Pouvoir de Marché</b>	Concurrence parfaite	Non	Non	Oligopole/Cournot	Non	Compétition parfaite	Oligopole Cournot	Oligopole Cournot	Non	Non
<b>Technologie</b>	Simple	Détaillé	Non	Pas d'évolution	Courbes d'abattement	Courbes d'abattement	Détaillé (CEMSIM)	Courbes d'abattement	Détaillé	Détaillé
<b>Taux de transfert</b>	Interne	Interne	Interne	Partiel (Cournot)	Exogène	Complet	Endogène	Partiel (Cournot)	Complet	Complet
<b>Divers</b>	Le prix des matières premières est (minerai de fer et scrap) dépend de la demande de la sidérurgie	Programmation linéaire (GAMS) Barrières tarifaires incluses	Programmation linéaire	Firmes UE avec plusieurs établissements	Test de sensibilité/ Méthodes d'allocation	Les secteurs sont liés au marché électrique et au marché CO2/ Méthodes d'allocation	Méthodes d'allocation / Spatial		Modèle récursif	Modèle récursif

**Tableau 4 : Analyse des mécanismes clés des principales études sur le lien entre prix de l'énergie, régulation environnementale et compétitivité de l'industrie**

L'avantage de ces modèles numériques est d'intégrer les mécanismes de comportement des acteurs du marché et de pouvoir ainsi prévoir l'effet de l'instauration de nouvelles politiques ou d'une évolution future des prix de l'énergie et de l'environnement. Ces modèles permettent de structurer une industrie et d'identifier les liens pouvant apparaître entre plusieurs aspects de celle-ci : économique, technologique et politique. Cependant, le choix des mécanismes présentés ci-dessus comporte une dimension subjective qui repose souvent peu sur des vérifications empiriques. Notamment, ces modèles sont rarement testés sur des périodes passées. En particulier, les mécanismes de concurrence sur les marchés internationaux sont souvent sommaires ou peu décrits. Ces modèles ne permettent pas de décrire la nature d'un mécanisme précis comme le lien entre les coûts de l'énergie et la compétitivité de l'industrie. La logique est plutôt inverse ; c'est la connaissance quantifiée de ce lien qui permet de l'intégrer dans un modèle numérique.

### iii. Les modèles économétriques

---

Les modèles économétriques permettent d'étudier un mécanisme, un lien en particulier et d'interpréter les relations de causalité. Ces modèles ont permis d'étudier les déterminants de la localisation des industries et des échanges internationaux de biens manufacturés (Tableau 5). Le plus souvent, ces méthodes se concentrent sur une sélection de quelques variables, à l'inverse des études de cas ou des questionnaires. Les conclusions de ces études démontrent souvent que les points mis en avant par ces études de cas sont également importants statistiquement (Blair & Premus, 1987). Dans les modèles économétriques, des données sur plusieurs individus ou groupes ainsi que sur une ou plusieurs années sont regroupées pour décrire les variables pertinentes dans l'explication de la compétitivité ou de la localisation. Des calculs statistiques permettent ensuite d'identifier et de quantifier l'effet de la variation d'une de ces variables sur la variable expliquée (production, investissement, exportation) en distinguant cet effet de celui des autres variables. Les méthodes économétriques permettent donc d'étudier statistiquement des mécanismes par l'analyse d'observations passées.

Les résultats se limitent, dans leur portée, au périmètre de ces observations. Ils ne permettent pas de prévoir un futur qui ne répondrait pas aux mêmes comportements des acteurs ou à des variations bien plus fortes. Par exemple, si les prix de l'énergie varient d'environ 20 % dans les observations, il ne sera pas possible de prévoir l'effet d'une variation du simple au double de ces prix. De plus, même si l'effet d'une variable est distingué de l'effet des autres variables, on ne peut pas se limiter à étudier l'impact de l'évolution isolée de cette variable. Cela peut juste permettre de comprendre son influence dans le passé. Pour des prévisions, il est nécessaire de prévoir l'évolution de toutes les variables explicatives comme un ensemble cohérent.

Les méthodes économétriques utilisées pour étudier les choix de localisation de l'industrie dépendent de la forme des données de la variable expliquée. Cette variable expliquée décrit souvent la compétitivité d'une industrie parmi ses concurrents mondiaux. Dans le long terme, la compétitivité détermine la localisation de la production. Une faible compétitivité mène à la fermeture et inversement une forte compétitivité attire les investissements et augmente les exportations. Ainsi, en étudiant la localisation des sites de production au niveau régional ou mondial, on déduit de manière indirecte la compétitivité des industries nationales. Cette localisation peut être approximée par différentes variables, que l'on peut séparer en trois groupes : *l'implantation ou la fermeture d'établissements* (également les changements de capacité), *les entrées* et *les sorties*. Les *entrées* représentent l'arrivée de capitaux, d'IDE et la création d'emplois dans un secteur et les *sorties* regroupent la production, les

exportations et les importations (Brunnermeier & Levinson, 2004). Le premier groupe, *changements de capacité*, est constitué d'observations discrètes alors que les deux autres groupes sont composés de variables continues. Cette distinction implique l'utilisation de méthodologies différentes en économétrie : les méthodes continues et les méthodes discrètes (Tableau 5). De nombreuses études ont été menées pour relier et quantifier les déterminants de la compétitivité à la localisation de l'industrie. Malgré l'utilisation de multiples méthodes, il n'existe pas encore de résultats fortement établis. Au contraire, chacune des méthodes met en avant un déterminant particulier.

#### 2.1.1.2) CHOIX D'UNE METHODOLOGIE ECONOMETRIQUE

---

La description des précédentes méthodes d'étude permet de souligner leurs avantages et leurs limites. Il est alors possible d'opter pour la solution la plus adaptée à la problématique et à l'échelle de l'étude. Les études de cas permettent d'identifier les facteurs et les déterminants de la compétitivité des industries. De nombreuses études analysent déjà la situation de la compétitivité de manière qualitative dans les IGCE. Le rôle de l'énergie y apparaît comme majeur (CEPI, 2005; Coface, 2011; Ecorys, 2008). Néanmoins, on ne peut prouver cet impact ni le mesurer pour le comparer à d'autres facteurs.

Les travaux de cette thèse se basent sur les résultats de ces études de cas pour établir la spécification des modèles économétriques. Ces modèles ont pour objectif d'identifier, de quantifier et de comparer l'effet des coûts de l'énergie sur la compétitivité des IGCE. Les méthodes économétriques permettent d'étudier ce lien à différents niveaux : au niveau des échanges internationaux de produits manufacturés, de la production d'une industrie nationale et à celui des changements de capacités de production dans les usines. Les deux premiers niveaux nécessitent des méthodes continues et des études sur plusieurs pays ainsi que sur plusieurs années. Des méthodes adaptées aux données de panel sont donc nécessaires. Pour le dernier niveau, celui des usines et des machines, les observations sont sous forme discrètes. La méthode ordonnée est alors utilisée pour les usines. L'augmentation, la stabilité ou la fermeture d'une usine forment une information hiérarchisée sur le choix des industriels. Enfin, pour les machines, l'âge joue un rôle prépondérant. Les méthodes d'analyse de « survie » sont donc les plus appropriées. Elles permettent de comprendre l'effet d'une variable exogène sur la probabilité de fermeture d'une usine.

Méthode	Type	Description	Exemple d'études
Discrète	Conditionnel	Permet de décrire un choix multiple entre plusieurs alternatives non ordonnées selon les caractéristiques variables de ces alternatives. Propriété d'indépendance des alternatives non pertinentes <sup>32</sup> .	(Bartik, 1988; 1989; Becker & Henderson, 2000; Friedman et al., 1992; Levinson, 1996; List & Co, 2000; Long & Freese, 2006; Lundmark, 2001; Mani et al., 1997; McConnell & Schwab, 1990; Pennings & Sleuwaegen)
	Nested	Evite l'hypothèse d'indépendance des alternatives non pertinentes et permet de modéliser des décisions en plusieurs étapes (ex. continent, pays, région)	(Mayer & Mucchielli, 1999; Rasciute & Pentecost, 2009)
	Mixed	Plus flexible que conditionnel ou nested. Mieux adapté quand beaucoup de choix sont possibles.	(Basile et al., 2008)
	Ordonné	Permet d'étudier des choix hiérarchisés mais pour lesquels la distance les séparant est inconnue	(Deily, 1991)
	Tobit	Prend en compte les variables censurées (ex. diminution de capacité limitée par fermeture).	(Beeson & Giarratani, 1998; Henderson, 1996)
	Survie	Estime le temps avant occurrence d'un événement et l'effet de variables exogènes	(Deily, 1991; Dimara et al., 2008; Ferragina et al., 2011)
	Bayésien	Diminue l'autocorrélation des données pour des échantillons spatiaux.	(Aguilar, 2009)
Continue	Données longitudinales	Régression sur des observations sur plusieurs individus mais non temporels	(Van Beers & Van den Bergh, 1997)
	Données de panel	Régression sur des observations sur plusieurs individus et sur plusieurs années.	(Levinson & Taylor, 2003; Vollmer et al., 2009)

**Tableau 5 : Présentation des différentes méthodes économétriques appliquées pour l'étude des déterminants de la localisation des industries**

<sup>32</sup> Cette propriété est vérifiée si le fait de changer l'ensemble des choix (par exemple ajouter une possibilité) ne modifie pas les ratios de chance (Bourbonnais, 2009).

### 2.1.2) DEFINITION DU CADRE SECTORIEL, GEOGRAPHIQUE ET TEMPOREL DES TRAVAUX

Le choix d'une méthodologie économétrique oblige à restreindre l'étude sur un échantillon d'observations issues d'une période, de pays et de secteurs bien définis. L'objectif est de prendre en compte à la fois le maximum d'observations afin d'améliorer la robustesse des résultats statistiques et, dans le même temps, de conserver une cohérence commune à toutes ces observations. Elles doivent décrire le même comportement, la même rationalité des acteurs face aux coûts de l'énergie. Ainsi, il n'est pas possible de prendre en compte une période de temps trop longue (plus de 20 ans), ce qui impliquerait d'étudier des années où les conditions énergétiques (accès, prix, technologies) et concurrentielles (internationalisation des échanges, privatisation des secteurs manufacturiers) étaient très différentes<sup>33</sup>. De plus, comme signalé auparavant, les résultats des études économétriques ne peuvent pas s'appliquer à toutes les situations. Notamment, ils sont obtenus par l'étude des variations de certains facteurs sur une variable étudiée. On ne peut alors utiliser les résultats que dans des conditions où les facteurs varient sur une ampleur comparable. Il est donc nécessaire de définir précisément le périmètre des travaux économétriques réalisés aux niveaux sectoriel, géographique et temporel. *Le périmètre de l'étude se limite à l'étude des industries du papier et de la sidérurgie dans 32 pays répartis au niveau mondial et sur une période de 12 ans entre 1995 et 2006*<sup>34</sup>.

#### 2.1.2.1) CHOIX DES SECTEURS ETUDIES : LE PAPIER ET LA SIDERURGIE

En première partie de cette thèse, la sensibilité des industries grandes consommatrices d'énergie face aux variations des prix des énergies a été mise en lumière. C'est sur ces secteurs que les enjeux énergétiques et environnementaux sont les plus forts, il convient donc de les étudier plus particulièrement. Cependant, si ces secteurs représentent un groupe commun par rapport à l'importance des coûts de l'énergie dans la production, ils ne présentent pas forcément d'homogénéité dans leur comportement concurrentiel. On ne peut donc pas les agréger dans un ensemble commun pour la réalisation d'une étude économétrique. Il n'est également pas possible de considérer une industrie particulière comme représentative de toutes les autres IGCE. Afin de limiter l'étendue du travail, tout en essayant d'appréhender l'ensemble des IGCE, les travaux économétriques se concentrent sur deux secteurs distincts : *l'industrie du papier et la sidérurgie*. Les résultats de ces deux secteurs pourront ainsi être comparés. S'ils présentent des points communs, il est alors possible d'estimer que ceux-ci s'étendent à la plupart des IGCE et inversement, s'ils divergent cela démontre la spécificité de chaque secteur IGCE.

L'industrie papetière est limitée, dans les travaux suivants, à la production de papier et ne tient pas compte de la production de pâte à papier. La définition utilisée agrège tous les types de papier (papiers journaux, papiers graphiques, cartons, etc.). Cela correspond à la section 48 de la nomenclature Harmonised System de 1996 (HS 96). Pour la sidérurgie, les travaux économétriques porteront sur la production d'acier brut et sur les échanges d'aciers finis comme défini par la section 72 de la nomenclature HS 96 ainsi que par les sous-sections allant de 7301 à 7307.

<sup>33</sup> Dans ce cas, l'estimation économétrique des paramètres d'un modèle de réaction des acteurs serait différente selon la période de temps de l'étude ; l'effet d'une variable évoluerait avec les décennies.

<sup>34</sup> Les échelles de temps et géographiques sont légèrement différentes pour la sidérurgie.



Le choix des industries du papier et de la sidérurgie parmi les IGCE répond à plusieurs critères :

- *Une compétition internationale accrue* : Ces deux secteurs ont dû faire face, entre 1995 et 2006, à une augmentation rapide des échanges internationaux, à l'apparition de nouveaux acteurs dans les pays émergents et à la création de grands groupes internationaux. Cela s'est traduit par un accroissement des importations en France et en Europe et par une baisse importante du nombre de sites de production. Par exemple, entre 2000 et 2010, environ 30 % des usines papetières ont fermé en France. Ces fermetures soulèvent alors des questionnements et une inquiétude sur la compétitivité de ces industries.
- *Une taille suffisante en France et en Europe* : Ces industries IGCE doivent représenter une taille économique suffisante en France et en Europe pour être pertinentes dans une étude statistique. L'industrie de la pâte à papier et du papier<sup>35</sup> représentait 2.2 % de la valeur ajoutée et de l'emploi dans l'industrie manufacturière française avec 1561 entreprises en 2006 (Eurostat, 2011; OECD, 2011). Il y avait alors 106 sites de production en France pour une production d'environ 10 000 kt par an et 952 sites en Europe pour 101 372 kt par an (FAOSTAT, 2010; RISI, 2011). La sidérurgie représentait, quant à elle, 2.9 % et 2.1 % respectivement de la valeur ajoutée et de l'emploi dans l'industrie manufacturière française avec 98 entreprises en 2006 (Eurostat, 2011; OECD, 2011). Il y avait alors 7 hauts-fourneaux répartis sur 3 sites et 30 fours électriques pour 22 usines en France pour une production d'acier brut de 19 852 kt. Dans l'Union européenne, la production de 206 000 kt est répartie sur 106 hauts-fourneaux (39 sites) et 313 fours électriques (205 sites), (King, 2011; Worldsteel Association, 2012). Les valeurs de production ainsi que le nombre de sites sont donc significatifs en France et en Europe pour ces deux secteurs. A l'inverse, par exemple, il n'existe plus que deux sites de production de l'aluminium en France, début 2012. Le secteur de l'aluminium est donc difficile à étudier par des méthodes économétriques.
- *Une relative homogénéité des produits de l'industrie* : Afin de pouvoir agréger des secteurs entre eux, il est nécessaire que ceux-ci produisent des produits relativement homogènes avec des procédés comparables. Même si des différences importantes existent entre les produits papetiers et les aciers, ces secteurs sont souvent étudiés de façon homogène, si ce n'est la distinction entre hauts-fourneaux et fours électriques pour la sidérurgie. Au contraire, l'industrie chimique, ou plus précisément la chimie organique, regroupe une multitude de produits très différents, sans homogénéité des procédés. La consommation d'énergie, très élevée, affecte donc de façon très différente chaque sous-secteur de la chimie au contraire des industries du papier et de la sidérurgie.
- *Présence et cohérence des données de production* : Pour un exercice statistique sur plusieurs pays et sur plusieurs pays, il est essentiel d'avoir accès à des bases de données complètes et fiables sur les secteurs étudiés (production, échanges, consommation, capacités). L'existence de ce type de données dépend d'abord d'une relative homogénéité des produits comme décrit ci-dessus et de la transparence du secteur par l'intermédiaire d'associations internationales (ex. WorldSteel, FAOSTAT, CEPII) et de consultants (CRU, POYRY, RISI). Les secteurs du papier et de l'acier présentent ainsi l'avantage de fournir beaucoup de données internationales et historiques.

<sup>35</sup> Cette définition inclut la production de pâte à papier, de papier et d'articles en papier.

### 2.1.2.2) UNE ECHELLE GEOGRAPHIQUE MONDIALE CENTREE SUR LES PAYS INDUSTRIALISES

---

Les deux industries étudiées, le papier et l'acier, font face à une concurrence mondiale accrue. Les échanges internationaux augmentent rapidement et les prix sont de plus en plus fixés au niveau soit continental soit mondial. Comme décrit dans la première section, la compétitivité, telle qu'on l'étudie ici, est un concept relatif. Elle apparaît ainsi dans la comparaison relative des différents concurrents. Or, les prix de l'énergie diffèrent principalement entre les pays. Il convient donc de comparer la compétitivité des deux secteurs étudiés *entre les pays*.

Par ailleurs, la dimension géographique dépend de l'étendue des échanges commerciaux qui définissent le marché. Pour cette raison, une analyse de la compétitivité entre pays *à l'échelle mondiale* est plus pertinente pour appréhender les grandes tendances à l'internationalisation de ces deux secteurs. L'analyse des flux bilatéraux entre pays pour ces deux industries sur un échantillon de pays, répartis à travers le monde (Tableau 6), démontre que la plupart des pays échangent entre eux des produits papetiers et de la sidérurgie. Le commerce et la concurrence agissent donc à une échelle mondiale. En effet, dans les données, 96 % des paires de pays sélectionnées ont échangé du papier ou de l'acier en 2006 (Tableau 7).

Les études économétriques sur l'impact des prix de l'énergie dans les industries du papier et de l'acier ont donc un périmètre géographique mondial dans nos études. Cependant, il n'est pas possible d'obtenir des données fiables pour tous les pays sur plusieurs années. Une sélection de pays a donc été effectuée pour les deux études (Tableau 6). Celle sur l'acier reprend le même périmètre que pour l'industrie du papier en y ajoutant Belgique-Luxembourg et en y enlevant la Norvège et la Grèce (données manquantes).

L'objectif de cette sélection est de prendre en compte les plus grands pays industrialisés dans le monde tout en essayant d'avoir une répartition, si possible, sur tous les continents. L'Europe et plus généralement les pays appartenant à l'OCDE sont les plus représentés car ils sont responsables d'une part importante des échanges de produits manufacturés dans le monde. De plus, de nombreuses données sont disponibles sur ces pays. Les pays non-OCDE sélectionnés sont souvent des grands pays disposant d'instituts statistiques nationaux développés. Les pays sélectionnés représentaient 97 % de la production mondiale et 88 % des échanges mondiaux d'aciers finis en 2006 (Worldsteel Association, 2011). Dans l'industrie du papier, les pays sélectionnés ont produit 94 % de la production mondiale et représentaient 92 % des exportations mondiales en 2006 (FAOSTAT, 2010). Ainsi, la grande majorité des producteurs de papier et d'acier sont inclus dans les travaux économétriques de cette thèse.

Continent	Pays dans l'étude sur le papier	Pays dans l'étude sur l'acier
<b>Europe de l'Ouest</b>	Allemagne Autriche Espagne France Italie Pays-Bas Royaume-Uni	Allemagne Autriche Espagne France Italie Pays-Bas Royaume-Uni Belgique-Luxembourg
<b>Scandinavie</b>	Danemark Finlande Norvège Suède	Danemark Finlande Suède
<b>Europe de l'Est</b>	Grèce Pologne Roumanie Russie, Fed. Tchèque, Rép.	Pologne Roumanie Russie, Féd. Tchèque, Rép.
<b>Amérique du Nord</b>	Canada Etats-Unis Mexique	Canada Etats-Unis Mexique
<b>Amérique du Sud</b>	Argentine Brésil Chili Colombie	Argentine Brésil Chili Colombie
<b>Asie</b>	Chine Corée du Sud Inde Indonésie Japon Thaïlande	Chine Corée du Sud Inde Indonésie Japon Thaïlande
<b>Autres régions</b>	Afrique du Sud Australie Turquie	Afrique du Sud Australie Turquie

**Tableau 6 : Pays étudiés dans les études économétriques sur les industries du papier et de l'acier**

Secteur	Nombre de pays dans l'étude	Nombre de flux bilatéraux possibles ( $n^2-n$ )/2	Flux bilatéraux nuls en 2006
Papier	32	496	11 (2 %)
Acier	31	465	19 (4 %)

**Tableau 7 : Dénombrement des échanges commerciaux manufacturés significatifs pour le papier et l'acier dans les pays de l'étude, en 2006**

**2.1.2.3) UNE PERIODE AVEC UNE CONJONCTURE ECONOMIQUE STABLE MAIS DE TRANSITION POUR LES PRODUCTEURS D'ACIER ET DE PAPIER**

---

Le choix de la période d'étude doit permettre de mettre en exergue les variations de compétitivité des industries IGCE dans les pays sélectionnés, ainsi que celles des prix de l'énergie. Or, durant les deux dernières décennies, les industries du papier et de l'acier ont connu des changements importants dans l'organisation géographique de leur offre productive, avec l'arrivée de nouveaux concurrents provenant des pays émergents. Cette période est également marquée par un mouvement important de consolidation et d'internationalisation des entreprises de ces secteurs. Ces deux phénomènes se traduisent par une augmentation rapide du commerce mondiale lors des vingt dernières années dans ces deux industries. En ce qui concerne les prix de l'énergie, l'évolution a été fortement en hausse pour le pétrole, le gaz naturel et le charbon métallurgique entre 1995 et 2006, et elle a été stable pour l'électricité et le charbon vapeur pour la moyenne des pays de l'étude (Figure 60). Néanmoins, cette moyenne cache des variations plus fortes et plus contrastées à l'intérieur de certains pays (ex. forte hausse du prix de l'électricité au Royaume-Uni, baisse puis hausse en Allemagne).

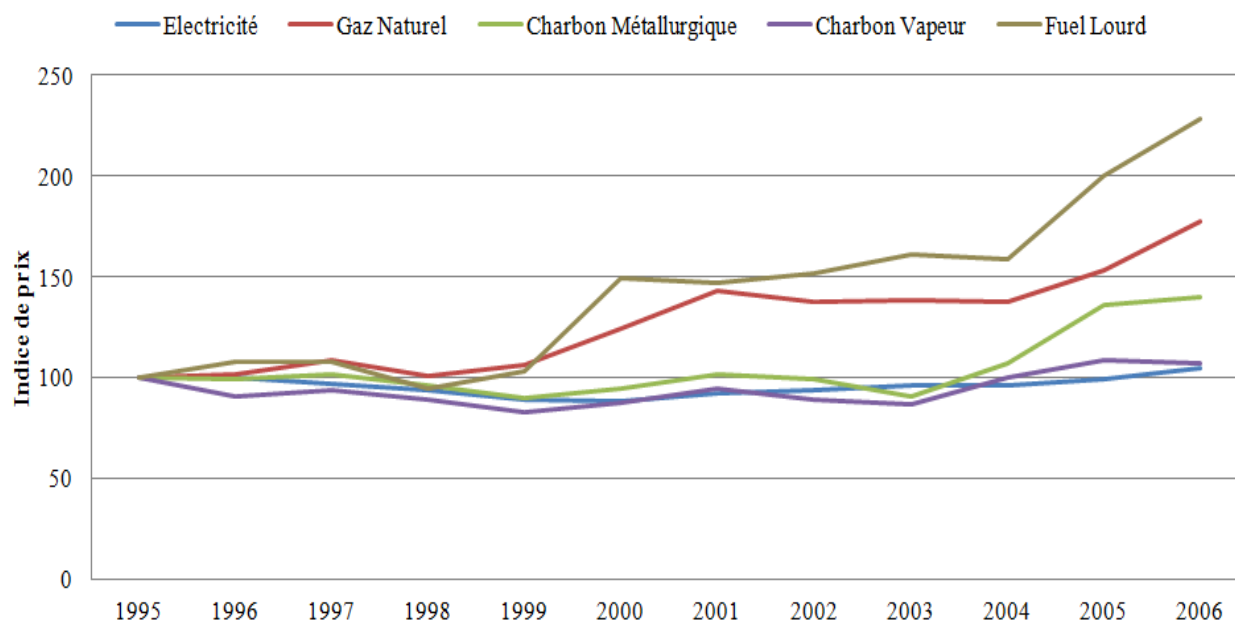
Néanmoins, les études économétriques réalisées nécessitent de nombreuses données obtenues sur différentes bases. Ces bases proposent un historique limité et sont réactualisées avec un retard de plusieurs années<sup>36</sup>. Ainsi, la période de temps est délimitée par la plus courte période disponible sur les bases de données. Dans les travaux économétriques, il est également important d'étudier une période de stabilité de la conjoncture économique. Ainsi, la crise financière de 2008 a fortement modifié les conditions économiques pour l'industrie manufacturière. Une étude économétrique sur cette période doit alors obligatoirement corriger ce biais conjoncturel, sauf si l'objet de l'étude est l'effet de la crise.

Afin de répondre à ces contraintes, *une période de 12 ans entre 1995 et 2006 a été choisie pour l'industrie du papier et de 9 ans pour la sidérurgie<sup>37</sup> entre 1998 et 2006*. Dans un objectif de comparaison, cette période sera commune à la plupart des études économétriques pour conserver une certaine homogénéité dans les résultats.

---

<sup>36</sup> Notamment, la base BACI du CEPII (Gaulier & Zignago, 2010), sur les échanges bilatéraux, est actualisée avec un retard d'environ 3/4 ans. A la date du début de thèse, en 2009, les données les plus récentes dataient de 2006.

<sup>37</sup> De nombreuses données sont manquantes dans la sidérurgie avant 1998.



**Figure 60 : Evolution de la moyenne des prix de l'énergie dans les pays sélectionnés entre 1995 et 2006. En valeur réelle. Indice 100 : 1995.**

Sources : Estimé à partir de données (Enerdata, 2010).

### 2.1.3) ACIER ET PAPIER : DEUX SECTEURS EN TRANSITION

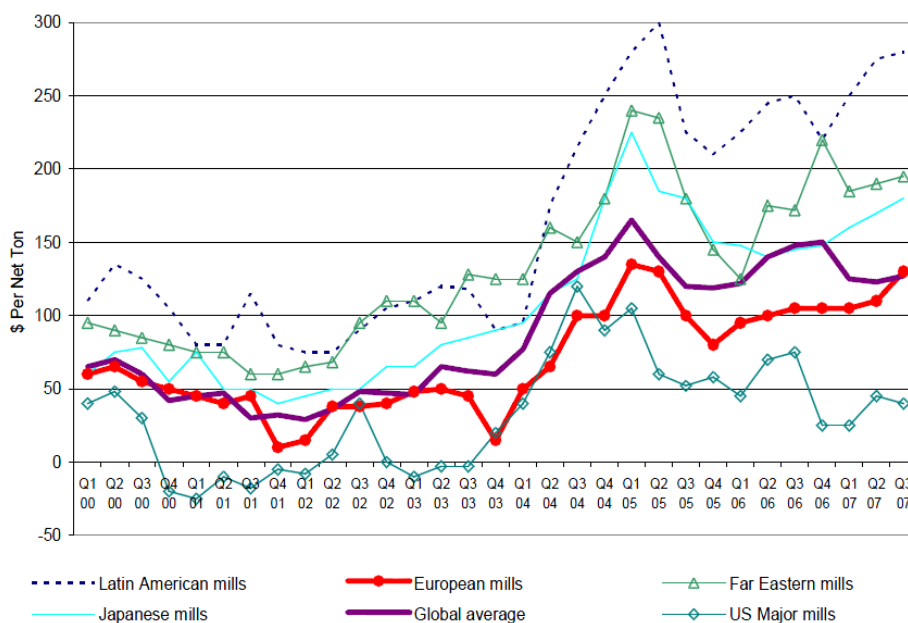
#### 2.1.3.1) SITUATION ECONOMIQUE

##### i. *La compétitivité de la sidérurgie mise à l'épreuve par des conditions exceptionnelles*

L'industrie sidérurgique a connu des changements majeurs depuis vingt ans, alternant des phases de pleine croissance, de stagnation et de crise. Longtemps freinés par des marchés en faible croissance et par des problèmes de surcapacité latents, les profits sont restés faibles voire négatifs malgré des restructurations importantes, entre le milieu des années 1970 et l'an 2000. En effet, les fortes barrières à la sortie, la volatilité de la demande ainsi que la tendance à la baisse des prix ont enfermé l'industrie sidérurgique dans une situation morose durant cette période (BCG, 2007).

Puis, la croissance forte des pays émergents, principalement de la Chine, a redonné vie à ce secteur. La soudaine explosion de la demande mondiale en acier a créé un déséquilibre important de l'offre et de la demande. Cela a résolu le problème de surcapacité dans la plupart des pays. Les prix de l'acier ont alors flambé entraînant une augmentation des profits pour la plupart des producteurs, malgré une hausse du prix des matières premières et de l'énergie. Lors de cette période faste, l'industrie sidérurgique s'est réorganisée afin de faire face à une concurrence accrue avec des fusions-acquisitions entre grands acteurs, une modernisation de l'équipement de production et une plus forte adaptation de la production aux besoins des clients.

La concentration accrue de la production, surtout au niveau régional, a augmenté le pouvoir de négociation avec les fournisseurs ainsi qu'avec les clients des sidérurgistes. Cela a permis un meilleur contrôle de la production et donc des prix. Dans la figure 61, la transition entre ces deux périodes apparaît clairement autour de l'année 2004, dans toutes les régions du monde. Au niveau mondial, les marges des aciéristes doublent en l'espace de deux ans et restent à un niveau élevé jusqu'à la seconde partie de l'année 2008. Seules les usines des Etats-Unis sont restées à des niveaux de marges assez faibles pendant cette période, notamment à cause d'une restructuration tardive des entreprises du secteur (Ecorys, 2008). C'est donc la concordance d'une industrie plus concentrée et plus modernisée avec une hausse de la demande mondiale qui a entraîné cette période faste pour les sidérurgistes.



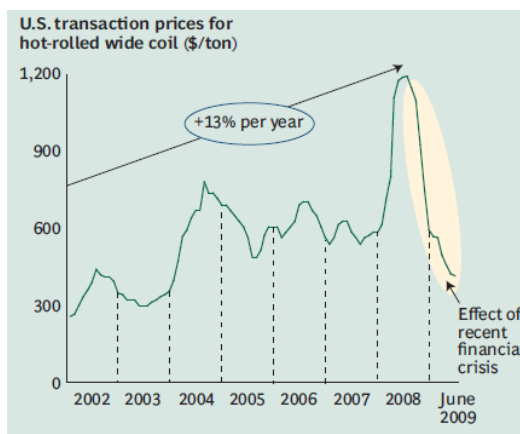
**Figure 61 : Evolution de la profitabilité dans la sidérurgie mondiale (EBIDTA par tonne produite). Source : (Ecorys, 2008)**

Cependant, la crise mondiale financière puis économique, fin 2008, a provoqué une chute très rapide de la demande et des prix de l'acier pendant plus d'un an (Figure 62). Les prix des entrants de la production d'acier (matières premières, énergie) ont également suivi cette tendance à la baisse dans une moindre mesure. Cette crise a fortement déstabilisé la sidérurgie mondiale peu préparée à une telle chute de la demande après des années de forte croissance.

Cette période a surtout démontré les faiblesses compétitives de certaines usines présentes dans les pays développés. Ainsi, malgré la forte reprise de la production mondiale en 2010, à des niveaux comparables à ceux d'avant la crise, la production n'a pas retrouvé le niveau de 2007 en Europe et en Amérique du Nord (Figure 63). Cette reprise de la production a surtout eu lieu en Asie. Une partie de la capacité de production n'était pas assez compétitive pour soutenir le choc d'une période de crise, et ne survivait auparavant que par la situation exceptionnellement profitable du secteur. Dans le cas de l'usine de Florange en France, l'entreprise Arcelor avant son rachat par Mittal envisageait déjà de fermer le site par manque de compétitivité. Mais avec la demande accrue d'acier entre 2006 et 2008, le besoin de capacité était très important, la plupart des haut-fourneaux européens ont tourné à plein régime malgré des coûts parfois plus élevés. Avec la crise à la fin 2008, le site de Florange a, par exemple, été mis à l'arrêt pour une durée indéterminée (François-F Feuerstein, 2012). La sidérurgie

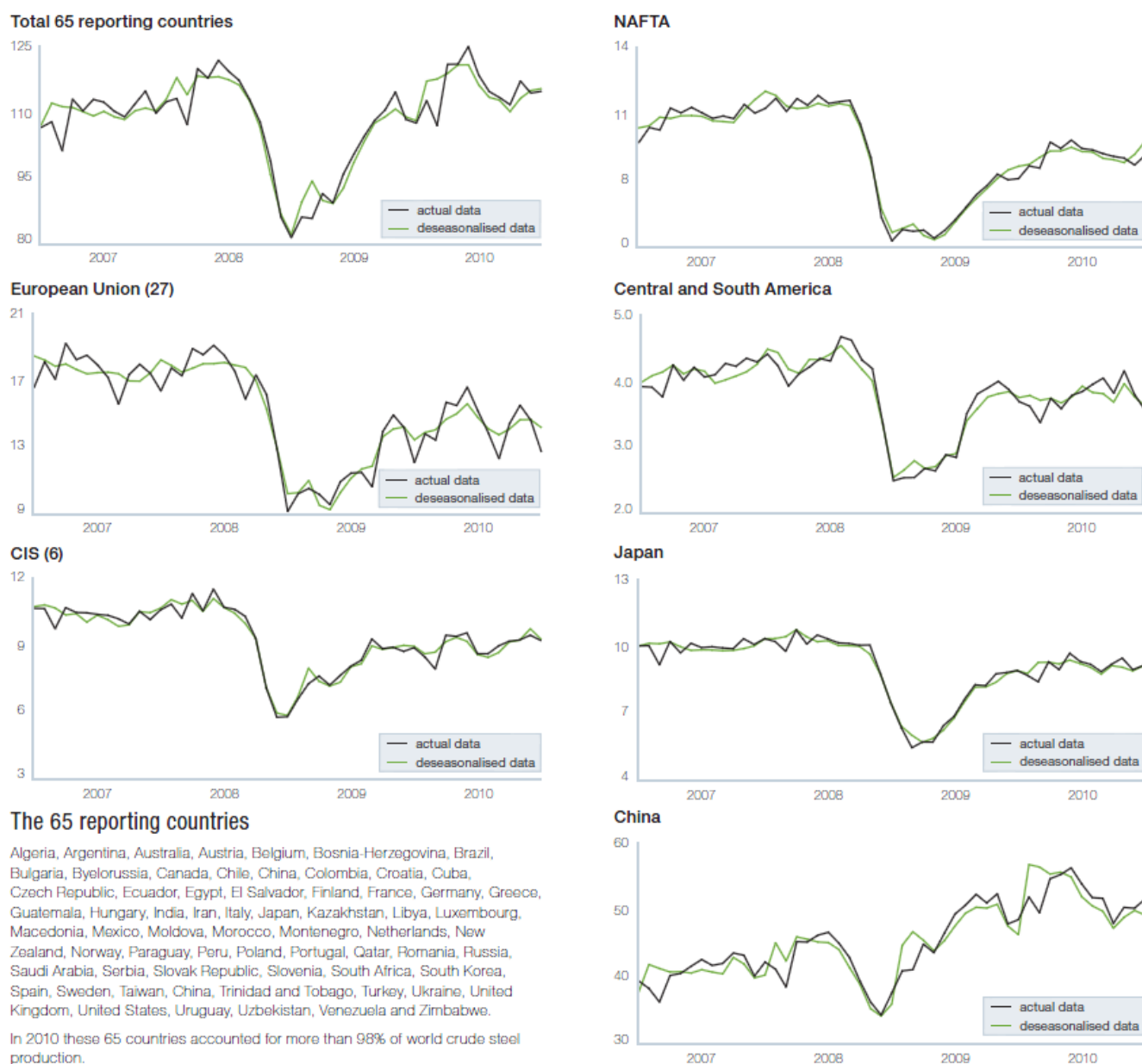
européenne a ensuite été affectée une seconde fois par la crise de la dette souveraine des états européens, réduisant une nouvelle fois les commandes d'acier. En effet, la sidérurgie européenne exporte peu en dehors des frontières européennes et dépend donc fortement de la conjoncture économique au sein de l'Union européenne (François-Feuerstein, 2011).

Les producteurs profitent de la baisse de la demande pour mettre à l'arrêt les fours les moins compétitifs, réduisant ainsi les problèmes de surcapacité avant une chute trop forte des prix. Ce comportement démontre d'ailleurs la plus forte coordination des acteurs de ce secteur face à une baisse des prix, dans un contexte où ceux-ci auraient mené une féroce guerre des prix une quinzaine d'années auparavant. Par exemple, l'entreprise ArcelorMittal, leader sur le marché européen, n'a pas hésité à mettre à l'arrêt de nombreux fours en Europe (Liège, Florange, Eisenhüttenstadt, Madrid, Schifflange et Rodange), si ce n'est de les fermer, malgré les réticences sociales et politiques. Début 2012, seulement 16 des 25 hauts-fourneaux d'ArcelorMittal en Europe étaient en fonctionnement (François-Feuerstein, 2012). Cette politique de fermeture a ensuite été suivie par les principaux concurrents européens : Tata Steel, ThyssenKrupp et Salzgitter. Un comportement oligopolistique avec l'existence de pouvoir de marché pour les sidérurgistes apparaît donc clairement : « *D'après les analystes de Fitch, cette flexibilité dans la production devrait permettre aux sidérurgistes européens de préserver leur rentabilité malgré la baisse des prix. La situation est bien meilleure qu'en 2008-2009. Les bilans des entreprises sont plus solides, la maturité de leurs dettes est plus longue et le niveau de trésorerie plus élevé, indiquent-ils* » (François-Feuerstein, 2011).



**Figure 62 : Effet de la crise financière de 2008 sur les prix de l'acier aux Etats-Unis**  
Source : (BCG, 2007)

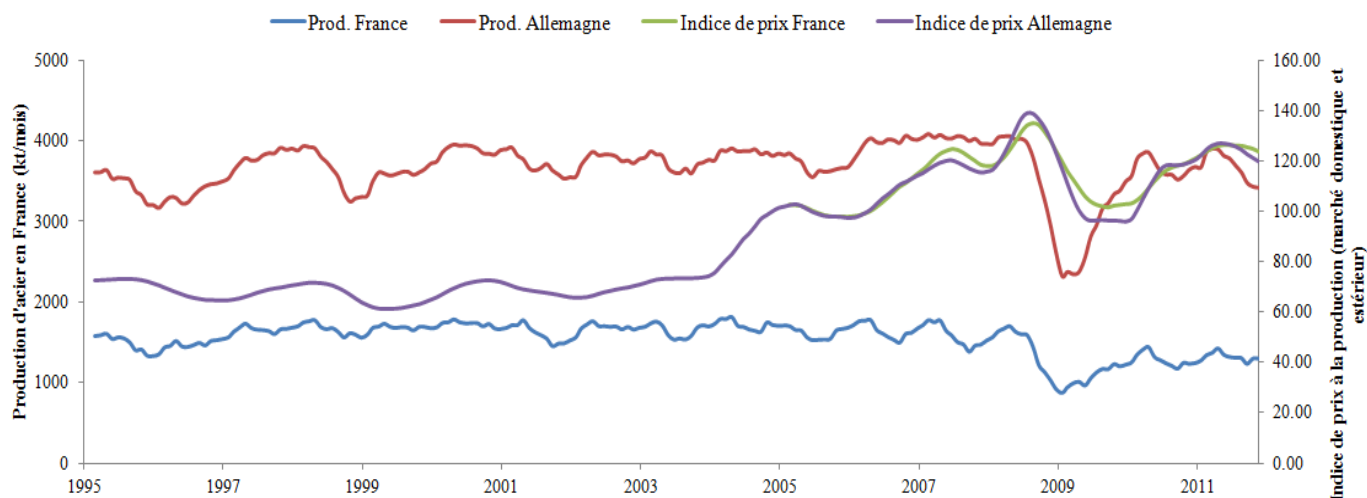




**Figure 63 : Production mensuelle d'acier brut dans le monde entre 2007 et 2010**  
**Source : (Worldsteel Association, 2011)**

Au niveau français, la sidérurgie a suivi une évolution similaire à celle de l'industrie européenne avec une période faste au début des années 2000 et une double crise depuis 2008. Pour autant, si les usines ont tourné à plein régime entre 2004 et 2006 en Europe, il y a eu des variations importantes de production en France par rapport à l'Allemagne (Figure 64). Lorsque l'on compare la production annuelle de 2002, avant la période de pleine croissance mondiale et la production en 2007, au sommet de la période faste, la production a baissé de 5 % en France alors qu'elle a augmenté de 7.3 % en Allemagne. La période de forte croissance n'a ainsi pas profité pleinement à l'industrie sidérurgique française comme à l'industrie européenne. Cela confirme l'hypothèse de survie de certaines usines peu compétitives grâce à un environnement économique très favorable (ex. Florange), et non pas du fait d'une bonne compétitivité. De plus, le taux brut d'exploitation (excédent brut d'exploitation/chiffre d'affaires) de la sidérurgie a été plus faible en France et en Belgique que pour l'Allemagne, l'Italie et l'Espagne sur la période 1995-2007 (Eurostat, 2011). Non seulement la production française a été plus faible que pour la région européenne malgré la période de forte croissance, mais elle a également été moins rentable. Ainsi, la situation de la sidérurgie française semble fragile. Notamment, la consommation d'acier a augmenté en France entre 2002 et 2007, mais cette nouvelle demande a principalement été satisfaite par des importations. Il existe cependant des usines et des entreprises très spécialisées en France, ne représentant pas un grand volume de production d'acier mais bénéficiant d'une forte valeur ajoutée sur leurs produits comme Vallourec ou AscoMetal (Dubois & Le Blanc, 2012).

L'industrie sidérurgique évolue donc rapidement aussi bien au niveau européen qu'au niveau mondial. Bien que la demande en acier puisse paraître stable dans les pays développés, elle a augmenté de 64 % en vingt ans pour les pays de l'Europe des 15, entre 1987 et 2007. Mais les pays de l'« Ouest » qui représentaient 90 % de la consommation mondiale en 1950, regroupent désormais seulement 40 % de cette consommation (Moreau, 2005). Les transitions entre des phases de forte rentabilité et des périodes de crise mettent à nu la robustesse des industries nationales. Depuis 1995, le secteur a connu de fortes restructurations et consolidations, une internationalisation des échanges et des acteurs avec l'émergence de nouveaux centres de production majeurs ainsi qu'une modernisation des outils de production. Comme l'énergie représente une large part des coûts de production de l'acier, environ un tiers pour un haut-fourneau, l'évolution future des prix de l'énergie et de la régulation environnementale risque d'affecter fortement une industrie en recomposition. Il apparaît donc pertinent d'étudier ce secteur parmi les autres IGCE, par son évolution rapide, la hausse de la concurrence mondiale et sa forte dépendance aux prix de l'énergie.

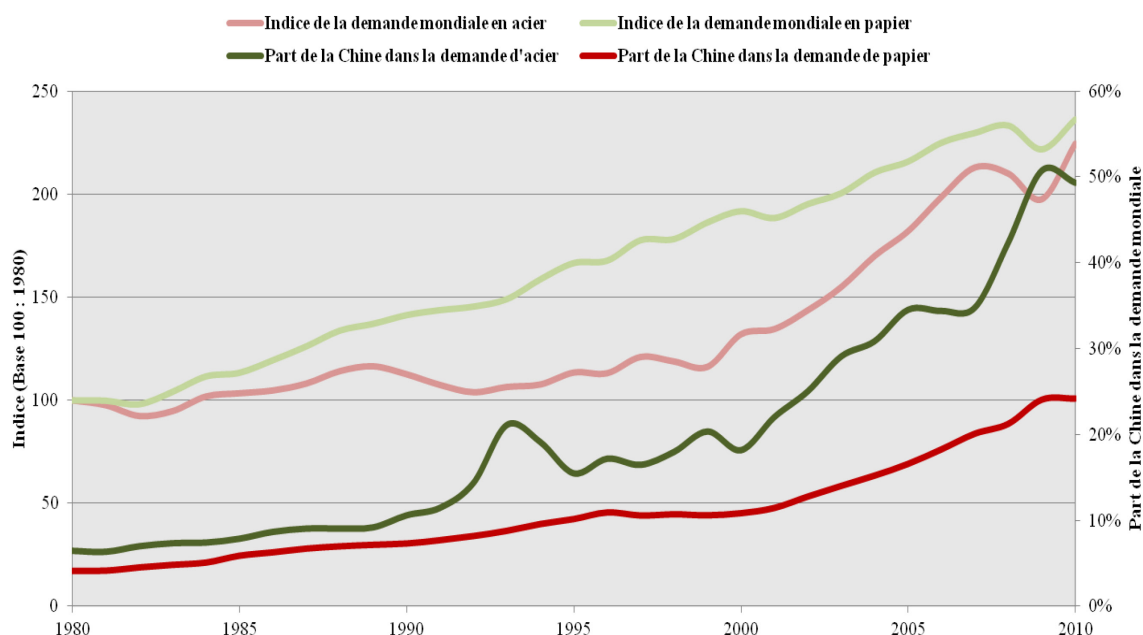


**Figure 64 : Production mensuelle d'acier brut et indice de prix à la production de la sidérurgie en France et en Allemagne entre 1995 et 2011. Moyenne glissante sur 5 mois.**  
**Sources : (Worldsteel Association, 2012) pour la production et (Eurostat, 2012b) pour les indices de prix.**

## ii. L'industrie du papier se transforme malgré une demande en croissance

L'industrie du papier a également connu une phase de transition importante, passant d'une industrie fragmentée à la création de grands groupes d'échelle internationale. Cependant, cette évolution a été différente de celle de la sidérurgie. La demande a augmenté de façon à peu près constante depuis 1980, mis à part pour la crise de 2008. Il n'y a donc pas eu de période de stagnation entre 1980 et 1995, ni de forte croissance ensuite comme pour la sidérurgie (Figure 65). Toutefois, dans l'ensemble, les croissances des demandes mondiales de papier et d'acier entre 1980 et 2008 ont été comparables. Notamment, si la demande chinoise a fortement augmenté durant cette période, passant de 4 % à 24 % de la demande mondiale, elle n'a pas été aussi décisive que dans la sidérurgie où elle représente désormais plus de 50 %. L'industrie mondiale du papier a donc connu une évolution plus stable de la demande de manière générale, sans période de faste ou de crise.

Malgré cette croissance constante de la demande, l'industrie papetière a subi des transformations structurelles majeures lors des deux dernières décennies. Le paysage des entreprises papetières en 2010, n'est plus du tout le même que celui quelques années auparavant. De nombreuses fusions-acquisitions ont eu lieu dans les pays développés et de nouveaux groupes importants sont apparus dans les pays émergents. C'est en Scandinavie que se sont regroupées les plus grands producteurs internationaux comme StoraEnso, UPM, M-Real. Par exemple, Norske Skog est issu de la réunion de tous les papetiers norvégiens. Inversement, en Europe de l'Ouest, la plupart des producteurs ont été rachetés par des groupes extra-continentaux (Diesen, 2007).



**Figure 65 : Evolution de la demande mondiale en acier et en papier entre 1980 et 2010. Part de la Chine dans cette demande. Indice 100 : 1980.**

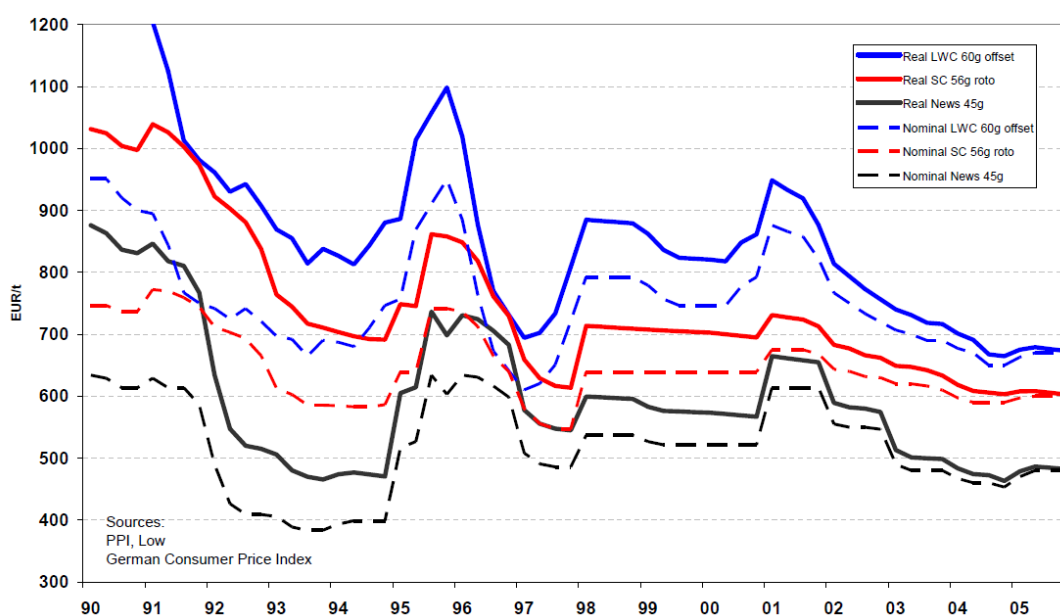
**Sources : (Worldsteel Association, 2011) pour l'acier et (FAOSTAT, 2010) pour le papier.**

Plusieurs facteurs expliquent ce mouvement important de fusions-acquisitions. Ce sont d'abord des raisons techniques. En effet, la technologie des chaînes de production de papier a fortement progressé en deux décennies. Entre 1990 et 2007, la taille optimale d'une machine à papier a presque doublé grâce à des améliorations sur la vitesse de rotation ainsi que sur la largeur maximum. L'industrie est ainsi passée de machines à papier journal produisant 75 000 tonnes par an en 1960 à 400 000 tonnes par an en 2005 (Diesen, 2007). Dans une industrie où elles étaient déjà fortement présentes, les économies d'échelles sont devenues encore plus prépondérantes dans la structuration de la production. De cette manière, des usines qui produisaient pour un marché régional ou national sont devenues moins compétitives que des usines modernes pouvant fournir à l'échelle continentale. L'innovation technique est donc un moteur important de l'internationalisation et de la restructuration des entreprises, tout au moins au niveau continental. De plus, le coût des transports ainsi que les barrières douanières ont régulièrement diminué et les grands acheteurs de papiers se sont aussi regroupés sur plusieurs pays, accentuant cette transition vers une échelle continentale de l'industrie.

En outre, les évolutions techniques ont permis l'utilisation de plus en plus massive du recyclage et du vieux papier comme composants de la fabrication du papier aux dépens de la consommation de fibres vierges. Le taux d'utilisation du vieux papier dans la production est passé de 20 % en moyenne dans les années 1970 à environ 50 % en 2005. L'utilisation du vieux papier est économiquement plus intéressante, plus facile avec les nouvelles technologies de désencrage et de détection des impuretés, diminue les déchets et rend l'industrie plus respectueuse de l'environnement (Diesen, 2007). Cependant, le vieux papier ne peut pas encore être utilisé dans tous les types de papier pour des raisons de qualité. Son taux d'utilisation est très élevé pour les papiers journaux (environ 90 %), plus modéré pour les papiers et cartons d'emballage (50 à 90 %) et faible pour les papiers graphiques (10 à 30 %). Cette nouvelle utilisation des matières premières a diminué l'attrait de la proximité aux ressources en bois pour les producteurs de papier. Ainsi, les centres urbains et les zones à forte densité de population produisant beaucoup de déchets papiers sont également devenus attractifs (Lundmark, 2003). L'avantage compétitif des pays scandinaves et du Canada, fondé sur l'abondance de bois et

l'efficacité de la filière forestière, n'est donc plus aussi marqué. Au contraire, les pays avec une forte consommation locale profitent désormais à la fois d'une proximité de la demande mais aussi des ressources en vieux papier. C'est une des raisons principales du rachat des groupes papetiers européens par les groupes scandinaves.

Ensuite avec l'internationalisation des échanges de papier, les prix sont devenus non plus nationaux mais continentaux, voire mondiaux (Karikallio et al., 2011). Cela a alors aggravé le problème de volatilité des prix du papier et le caractère cyclique du marché papetier (Figure 66). Pour contrer ce problème, les industriels se sont regroupés afin de gagner du pouvoir de marché et de contrôler ainsi, dans une certaine mesure, les incertitudes du marché. Une faible concentration des entreprises mène à une mauvaise maîtrise des capacités et de l'offre. En effet, le manque de concentration diminue la capacité de coordination du secteur sur les questions d'investissements. Ce mouvement de fusion-acquisition des entreprises est comparable à celui de la sidérurgie pendant la même période. Par exemple, en 2005, la compagnie StoraEnso a acquis 9 entreprises entre 1990 et 2005 (Tampella, Stora, Hotlzman, etc.), (Diesen, 2007). Néanmoins, de nouveaux acteurs sont entrés dans le même temps sur le marché. Ce sont notamment des sociétés de capital-investissement et des entreprises des pays émergents de plus en plus grandes (surtout chinoises, ex. Nine Dragons Paper Industries). Par exemple, SAPPI une entreprise sud-africaine a désormais de nombreuses usines en Europe et aux Etats-Unis.



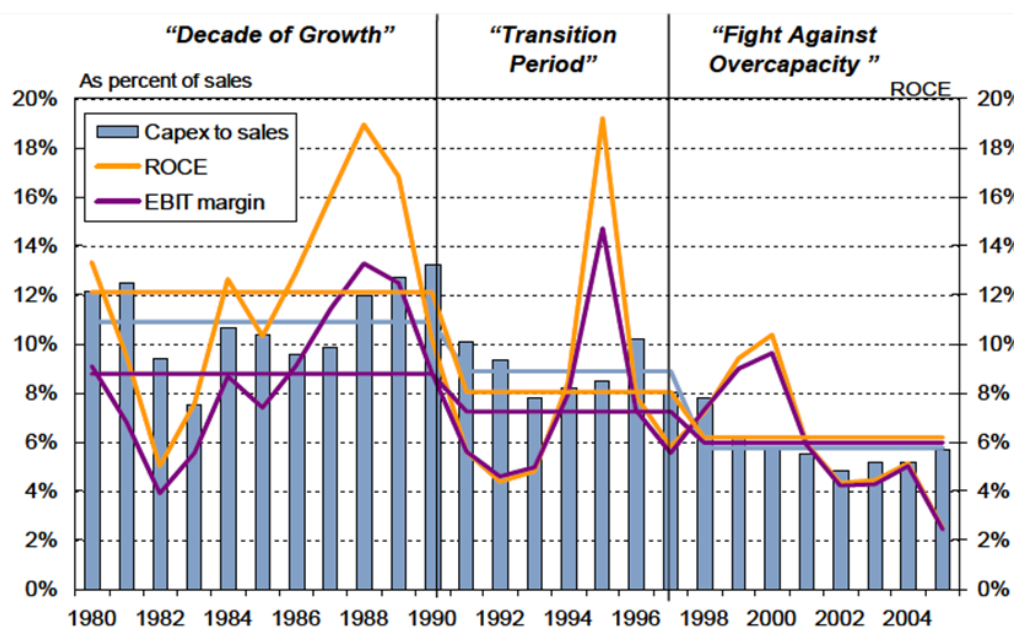
**Figure 66 : Evolution des prix du papier journal et des papiers d'impression en Allemagne de 1990 à 2005. Source : (Diesen, 2007)**

Le caractère cyclique de l'industrie du papier provient des investissements fixes très élevés, de leur spécificité, du délai long de mise en marche de nouvelles capacités et du manque de flexibilité dans la production. Un investissement est une étape irréversible. Ainsi, tout investissement dans de nouvelles capacités requiert des fonds financiers importants pour un horizon de temps très long. Une nouvelle usine de papier sera souvent en activité pour plus de 20 ou 25 ans. Un tel investissement détermine donc la stratégie à long terme de l'entreprise. Cette cyclicité est principalement due à des facteurs endogènes à l'industrie même si les cycles sont accentués par des facteurs externes comme les taux de change, la volatilité de la demande (notamment de la demande industrielle pour l'emballage), la

volatilité des prix des ressources premières et de l'énergie (Romme, 1994). En effet, dans les périodes fastes de croissance de la demande et de prix élevés, les producteurs décident de l'augmentation des capacités en anticipant une future hausse. Or, comme les économies d'échelle augmentent très rapidement, ces nouvelles capacités sont de plus en plus grandes. Ces décisions se font souvent dans la même période par les différents concurrents. En effet, c'est une situation de « dilemme du prisonnier », où par manque d'information sur les concurrents, celui qui n'investit pas risque de perdre des parts de marchés importantes et de garder des usines moins productives. Cependant, le délai entre la décision d'investissement et la mise en route effective peut aller de 3 à 5 ans selon la taille du projet. Ainsi, lorsque toutes les nouvelles capacités entrent en production, un phénomène de surcapacité important apparaît entraînant les prix à la baisse. De plus, les acheteurs spéculent sur l'évolution des prix à la baisse et modifient en conséquence les stocks disponibles.

Puis, en période de faibles prix, les producteurs préfèrent faire tourner les machines tant que les prix sont supérieurs aux coûts variables de production à cause de l'importance des investissements financiers en jeu. Il est également difficile d'interrompre la production d'une usine. Il arrive donc une période de très faible rentabilité. Pendant ces périodes de faibles profits, les industriels diminuent fortement les investissements capitalistiques, ferment les usines les plus anciennes et mettent en place des programmes de restructuration et de baisse des dépenses. On assiste alors à de nombreuses fermetures et à des licenciements importants. Entre 1999 et 2004, l'Amérique du Nord a fermé 334 machines (-17 Mt/a) et l'Europe, 423 machines (-8 Mt/a). Les nouvelles capacités ont principalement été construites en Chine, 182 nouvelles machines (+15 Mt/a), et en Europe (87 machines +9 Mt/a) (Diesen, 2007).

La figure 67 reflète le comportement cyclique de l'industrie du papier entre 1980 et 2004, avec la présence de cycles courts (pics annuels) et cycles longs (sur 20 ans). Pour rappel, la demande de papier a augmenté de manière constante pendant cette période. En analysant le graphique, on peut voir que les investissements (« Capex to sales ») augmentent fortement durant les périodes fastes jusqu'à atteindre un maximum durant la chute de la rentabilité (« ROCE »). Puis, ils chutent pour être au plus bas durant les périodes de forte augmentation de la rentabilité. En tenant compte de l'existence de délais de plusieurs années entre la décision d'investissement et la mise en opération d'une usine, il est clair que les périodes d'augmentation de capacité sont déphasées des périodes de rentabilité. Sur le long terme, les producteurs tentent donc de lutter contre ce caractère cyclique du marché en se concentrant. Cela permet alors de diminuer les problèmes de surcapacité. On note ainsi une baisse générale des investissements fixes entre 1997 et 2005 par rapports aux années 1980.



**Figure 67 : Evolution des investissements et de la rentabilité pour une sélection d'entreprises<sup>38</sup> de l'industrie papetière.** Capex = Dépenses d'investissement de capital. ROCE = Taux de rentabilité de l'actif économique. EBIT = Résultat d'exploitation. Source : (Diesen, 2007)

En France, la production annuelle de papier est restée constante autour de 10 000 kt entre 1999 et 2008. Elle a par contre chuté avec la crise financière de 2008. Le solde net des échanges commerciaux de papier est négatif et significatif depuis plusieurs années. Cependant, la part des importations dans la consommation ne progresse que très légèrement, la compétitivité de l'industrie nationale reste donc stable.

Pourtant, l'industrie du papier française a connu une profonde transformation de son paysage productif depuis 2000. Globalement assez fragmentée si l'on considère ensemble tous les types de papier, elle a été modifiée par une forte restructuration de ses entreprises menant à une plus grande concentration à l'intérieur de chaque segment de marché. Le nombre d'acteurs a chuté de 26 % en dix ans passant de 57 entreprises en 2000 à 42 en 2011. De même, environ 34 % des usines présentes en 2000 ont fermé en dix ans. La capacité totale a logiquement baissé mais de manière beaucoup moins brusque (environ -8 %). Cette moindre baisse est le résultat d'un mouvement contraire d'augmentation de la taille moyenne des usines (de plus de 30 %), ce qui correspond bien au relèvement des seuils optimaux des économies d'échelle. On assiste donc à une fermeture massive des usines de petites tailles ainsi que des petits acteurs. L'industrie se restructure vers des acteurs de plus grande envergure pour faire face à la concurrence internationale et pour atteindre une taille financière critique. Cette taille financière est nécessaire pour pouvoir investir dans de nouvelles machines afin de profiter des économies d'échelle. Ainsi, les grands groupes internationaux possèdent de plus en plus de parts de marché en France et les groupes français ont tendance à se regrouper avec des acteurs papetiers européens pour augmenter leur taille. Par exemple, Lecta Group est issu du regroupement de plusieurs usines papetières en France, en Italie et en Espagne.

L'industrie papetière a donc moins été affectée par les événements extérieurs au marché que l'industrie sidérurgique. La croissance de la demande mondiale a été positive et stable jusqu'à la crise

<sup>38</sup> International Paper, Norske Skog, StoraEnso, UPM, Sappi, Holmen, Mondi



de 2008. L'émergence de la Chine comme pays producteur de papier est un phénomène important mais pas aussi perturbateur pour les marchés du papier et le prix des matières premières que dans l'acier. On ne peut donc pas conclure sur un déplacement du centre de gravité de l'industrie vers l'Asie pour le moment. Malgré cela, l'industrie du papier a été profondément transformée ces dernières décennies par le développement technique et par l'internationalisation des échanges commerciaux. En conséquence, l'industrie s'est concentrée et la taille moyenne des usines a augmenté. De nombreuses usines ont été fermées entre 1995 et 2006, malgré une capacité globale en hausse. Dans ce contexte, certaines régions du monde parviennent à devenir plus compétitives, comme dans les pays scandinaves dont les entreprises s'imposent sur la scène internationale. Cette industrie, très consommatrice d'électricité, évolue donc rapidement depuis quelques années, en particulier en France où de nombreux sites ferment.

### 2.1.3.2) STRUCTURE DE L'INDUSTRIE SIDERURGIQUE

---

Au regard de l'analyse temporelle présentée précédemment, l'industrie sidérurgique et l'industrie du papier apparaissent comme des industries matures assujetties à des cycles alternant des périodes de croissance et de crise. Dans la sidérurgie, les principales tendances ont souvent été initiées par des événements extérieurs au secteur à l'échelle mondiale. Ainsi, la crise pétrolière, l'émergence de la Chine et la crise financière de 2008 ont été les principaux facteurs d'évolutions exogènes de cette industrie durant les dernières décennies. Face à ces perturbations extérieures, l'industrie sidérurgique est peu réactive, freinée par des barrières élevées à l'entrée et à la sortie. L'industrie est ainsi régulièrement confrontée à des problèmes de sur-capacité ou de sous-capacité de production. L'impact des phénomènes extérieurs est alors amplifié dans leur puissance et dans leur durée. Dans l'industrie papetière, les tendances résultent plus du comportement des acteurs que des événements mondiaux. La faible concentration du secteur est une des principales raisons de l'existence de tels cycles malgré une demande en constante augmentation. Malgré cela, comme la sidérurgie, le secteur du papier tend à se concentrer dans de grands groupes d'ampleur internationale. Cette section décrit les caractéristiques de la demande et de l'offre dans ces deux secteurs et met en évidence les fondements économiques régissant le comportement des acteurs de ces industries.

#### i. La demande

---

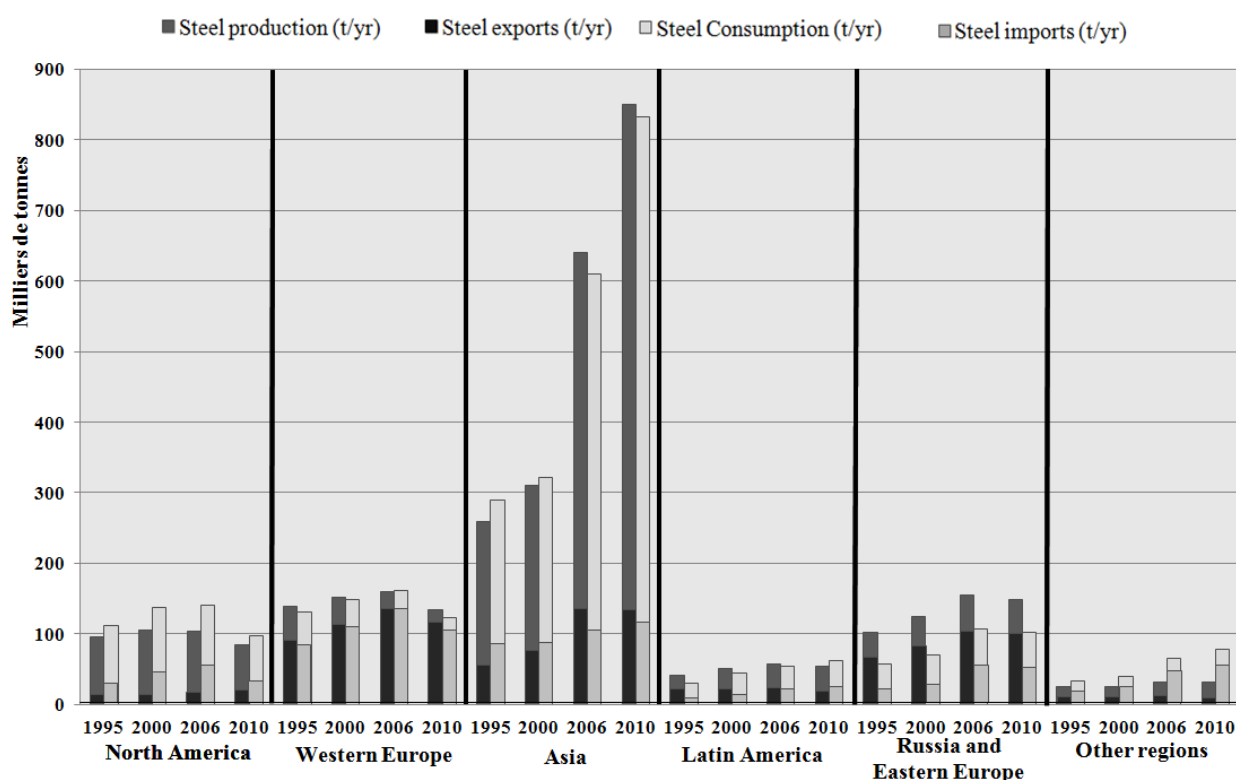
##### *Un déplacement massif de la demande en acier vers la Chine*

---

Entre 1970 et 2000, la demande mondiale en acier a stagné après avoir significativement augmenté depuis la fin de la seconde guerre mondiale. Les crises pétrolières ont notamment fortement affecté le secteur durant ces années. En 1995, la demande mondiale en acier était déjà dominée par l'Asie, avec principalement le Japon et la Chine à part égale, puis la Corée du Sud et l'Inde. L'Europe de l'Ouest et l'Amérique du Nord représentaient des marchés de moindre taille mais majeurs car moins éclatés qu'en Asie. En Russie et en Europe de l'Est, le niveau de consommation avait chuté depuis la chute de l'URSS. Cette chute de la demande se traduisait alors par une différence forte entre le niveau de production de cette région et celui de la consommation domestique (production deux fois supérieure à la demande). Les autres régions du monde étaient des marchés mineurs pour la sidérurgie.

Puis, la consommation et la production d'acier ont bondi en Asie entre 2000 et 2006, surtout en Chine. Cette augmentation s'est produite de manière totalement décorrélée des autres régions du monde. Désormais l'Asie représente le marché dominant de l'acier dans le monde. Ce continent représente 64 % de la consommation mondiale, une part dont la Chine constitue 68 %. D'autres croissances importantes ont également eu lieu dans les autres régions du monde mais dans une moindre mesure : en Amérique Latine, en Russie et dans les pays d'Europe de l'Est. En Europe de l'Ouest et en Amérique du Nord, la consommation et la production ont d'abord augmenté avant de revenir à des niveaux légèrement inférieurs à ceux de 1995 avec l'effet de la crise financière de 2008.

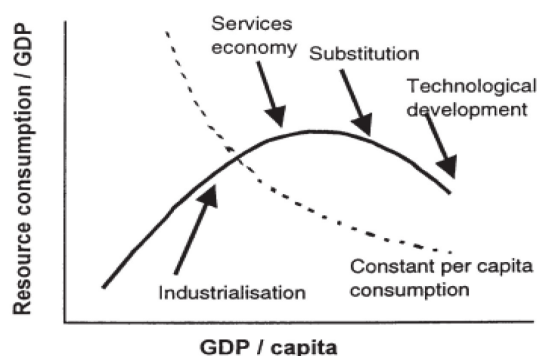
Le niveau des échanges commerciaux est bien plus élevé en Europe de l'Ouest et de l'Est que dans les autres continents. Cela provient de la forte intégration régionale de l'industrie dans ces zones. Dans les autres continents, la part des produits échangés a tendance à augmenter sauf en Asie, où la Chine survient à la plupart de ses besoins. Au niveau des soldes nets d'échange, l'Amérique du Nord importe plus qu'elle n'exporte depuis 1995. Cela a été le cas pour l'Asie jusqu'en 2006, date à laquelle s'est inversé le solde asiatique. La Russie et l'Europe de l'Est ont un solde positif élevé depuis 1995 qui a perduré malgré une forte hausse de la consommation. Ce solde positif résultait des sur-capacités liées à l'effondrement du bloc soviétique. Il s'est cependant poursuivi avec les années. L'Europe de l'Ouest a conservé un solde positif durant toute la période, excepté en 2006.



**Figure 68 : Production, consommation et échanges d'acier entre 1995 et 2010 dans les principales régions mondiales.**

Source : Estimé à partir de données de (Worldsteel Association, 2011)

La demande en acier dans chaque pays est principalement déterminée par le niveau de richesse et de développement du pays, représentée par le PIB par habitant, ainsi que par l'évolution de la population. Ainsi, une courbe en cloche de la demande en acier par habitant en fonction du PIB par habitant peut être obtenue approximativement pour tous les pays (Figure 69). La première phase de forte croissance de la demande est liée à la phase d'industrialisation des pays en voie de développement, passant d'une économie de subsistance à une économie industrielle avec le développement d'infrastructures très consommatrices en acier. La consommation d'acier par habitant atteint un maximum avec l'apogée de l'industrie manufacturière. Ensuite, avec la hausse du niveau de richesse, le secteur tertiaire devient de plus en plus prépondérant. Dans la dernière phase, l'acier est substitué par d'autres matériaux (plastiques, aluminium) et les procédés industriels sont plus efficaces. La consommation par habitant diminue donc avant de se stabiliser à un niveau modéré. On peut d'ailleurs noter que si des variations de cette courbe existent selon les spécificités de chaque pays, les pays développés ont tendance à converger vers un même niveau de consommation (si l'on tient compte de la consommation indirecte d'acier induite par les importations et les exportations de produits métalliques), (Moreau, 2005).



**Figure 69 : Courbe d'intensité de consommation de l'acier**  
**Source : (Van Vuuren et al., 1999)**

Le niveau de richesse par habitant dans un pays n'est pas le seul facteur de consommation d'acier. Il existe de nombreuses spécificités propres à chaque région ou pays. Notamment, c'est au niveau des branches utilisatrices qu'apparaissent les principales différences. D'abord, dans la répartition de la consommation d'acier, c'est le secteur de la construction qui consomme une grande majorité des produits dans les pays émergents (plus de 50 %) alors que l'automobile et l'industrie des équipements légers sont deux secteurs bien plus importants dans les pays développés (plus de 30 % ensemble). Le reste de l'acier est consommé par la production des autres transports (aéronautique, ferroviaire et naval) et par l'équipement mécanique (Moreau, 2005). En effet, les pays émergents développent prioritairement les grandes infrastructures nationales (chemins de fer, ligne électriques,...) consommant la plupart de l'acier produit. Au contraire, dans les pays développés, les industries de l'automobile et des équipements domestiques sont plus développées grâce à une demande domestique ancienne et donc plus présente.

Puis, à l'intérieur de ces secteurs consommateurs, ils existent des facteurs spécifiques d'intensité de consommation de l'acier. Un même secteur industriel aura une consommation spécifique très différente selon les pays. Néanmoins, la mondialisation de plus en plus rapide des procédés industriels tend à diminuer ces écarts. Dans le bâtiment, l'intensité en acier dépend du poids spécifique des fabrications (bâtiment industriel, agricole, tertiaire ou résidentiel) et des matériaux utilisés. Par exemple, les pays du « Sud » de l'Europe utilisent plus de ciment que les pays du « Nord » orientés

vers des constructions métalliques. Dans l'automobile, la consommation dépend de la spécialisation industrielle du pays, du poids moyen des véhicules, de la part des différents matériaux et du niveau de mises au mille des fabrications dans la chaîne de production. Dans la mécanique et les équipements domestiques, l'intensité en acier dépend surtout de la technologie des produits. Notamment, l'introduction de composants électroniques a mené à une « dématérialisation » des machines-outils, par une augmentation des performances à poids égal (Moreau, 2005). De manière générale, la valeur ajoutée des secteurs consommateur d'aciers est de 40 % du PIB dans les économies émergentes et de 10 % dans les économies développées (Moreau, 2005).

La demande en acier est très inélastique par rapport aux prix de vente. Dans la littérature économique, cette élasticité-prix de la demande est estimée aux alentours de -0.3 (Demailly & Quirion, 2008; OECD, 2002; Winters, 1995). Certains auteurs utilisent une élasticité de -0.2 dans leur modèle (Gielen & Moriguchi, 2002; Hidalgo et al., 2003). Il existe des substituts pour l'acier (ciment, aluminium, plastique) mais il est difficile de les mettre en place. Un tel changement exige souvent une conception très différente des produits ainsi que des procédés de production nouveaux. Par exemple, l'utilisation de l'aluminium pour les pièces de structure de l'automobile nécessite des alliages d'aluminium en profils extrudés ou en pièces de fonderie sous pression. Une telle utilisation se limite encore aux produits hauts de gamme. Une réorientation de la production de masse vers l'aluminium n'est possible que pour une très forte hausse des prix de l'acier en comparaison de ceux de l'aluminium. Il faut donc considérer une forte inélasticité de la demande dans le court terme puis une inélasticité modérée dans le long terme en fonction des matériaux en compétition.

La demande mondiale en acier devrait encore augmenter pendant les prochaines décennies, principalement en Chine et dans les pays émergents (Brésil, Afrique du Sud, Inde). On assisterait alors à un déplacement encore plus marqué de la consommation d'aciers vers l'Asie. Les perspectives en Europe et aux Etats-Unis dépendent beaucoup de la reprise économique. Mais, au mieux, les consommations resteront stables avec de nouvelles substitutions de l'acier ainsi qu'une meilleure efficacité de sa consommation. Des interrogations demeurent sur la capacité des pays encore en émergence (Afrique, Moyen Orient, Amérique du Sud) à se placer sur une courbe de croissance similaire à celle de la Chine (Moreau, 2005). En effet, l'ampleur exponentielle de la croissance de la demande en Chine était peu prévisible, l'industrie sidérurgique devra faire face à une lutte importante pour les matières premières si une telle croissance a lieu dans d'autres pays émergents.

*Une demande en papier qui augmente de manière continue avec le niveau de richesse des pays*

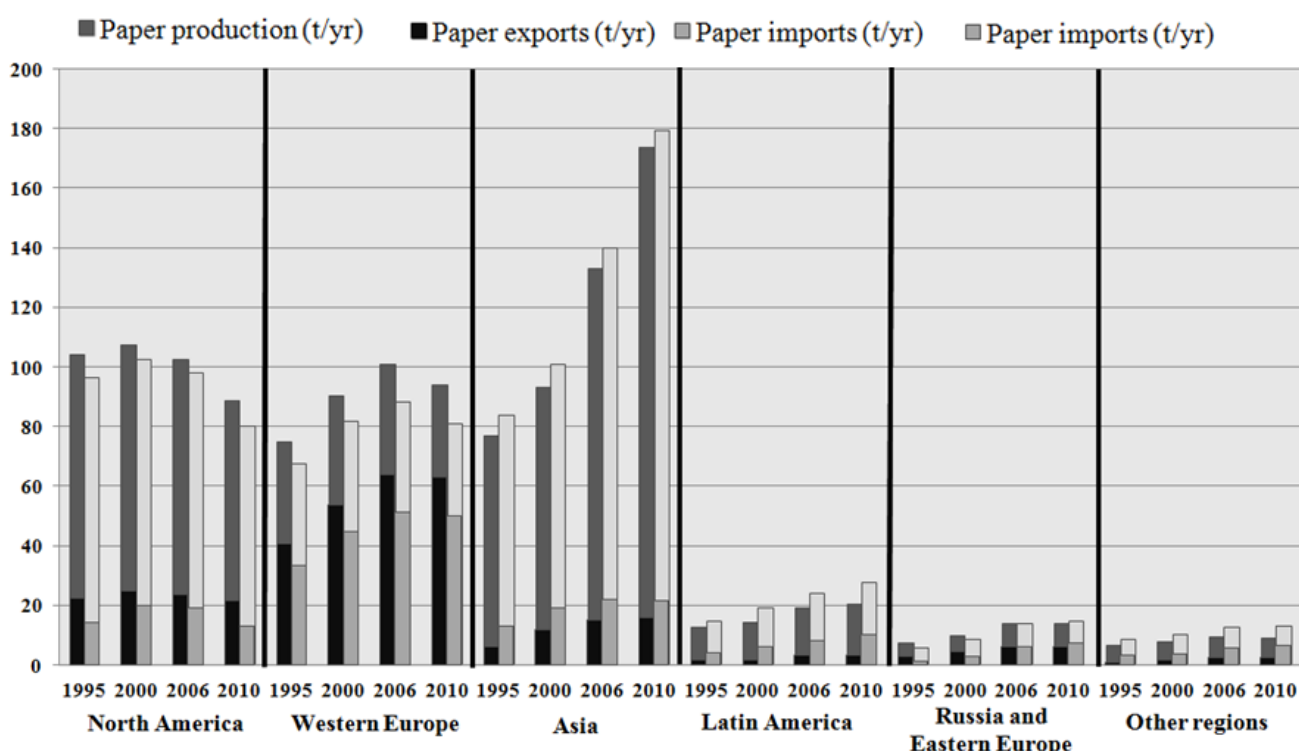
---

La demande en papier est très distincte selon les régions du monde et le niveau de développement des pays. En quantité, la demande mondiale se concentre en Amérique du Nord, en Europe de l'Ouest, en Chine et au Japon. Le reste de l'Asie, l'Europe de l'Est et l'Amérique Latine représentent des marchés de taille beaucoup plus modérée. Enfin, l'Afrique et l'Océanie ont des consommations négligeables et ne représentent pas un enjeu majeur pour l'industrie mondiale du papier.

En 1995, l'Amérique du Nord était le principal marché pour les produits papetiers avec une consommation par habitant très élevée de 300 kg/an (Figure 70). Un niveau de saturation de l'intensité de consommation a été atteint entre 2000 et 2006. Puis, la crise a fortement diminué la consommation

de papier. En Europe de l'Ouest, cet effet de saturation n'est pas apparu, la consommation a continué à croître jusqu'à la crise financière de 2008. En Asie, la croissance est particulièrement forte depuis l'an 2000.

L'écart entre l'Asie et les autres zones géographiques demeure beaucoup moins important que dans la sidérurgie. En effet, l'augmentation de l'intensité de consommation de papier en fonction du niveau de richesse, arrive à un niveau plus tardif du développement économique d'un pays que pour l'acier, lors de la transition vers une économie de service. En analysant les courbes d'intensité de la consommation en fonction du PIB par habitant, le sommet de la courbe inversée apparaît entre 5000 et 15000 \$<sub>1990</sub> par habitant pour l'acier, et entre 19000 et 34500 \$<sub>1990</sub> par habitant pour le papier (Moreau, 2005; Pöyry Forest Industry Consulting Oy, 2007). Une très forte croissance de la consommation de papier en Asie, similaire à celle dans la sidérurgie, est donc probable si l'économie chinoise continue à croître rapidement. Dans les autres marchés régionaux plus marginaux, la situation évolue vite. Notamment, la croissance de la consommation en Russie et en Europe de l'Est, a été plus importante entre 1995 et 2010 qu'en Asie.

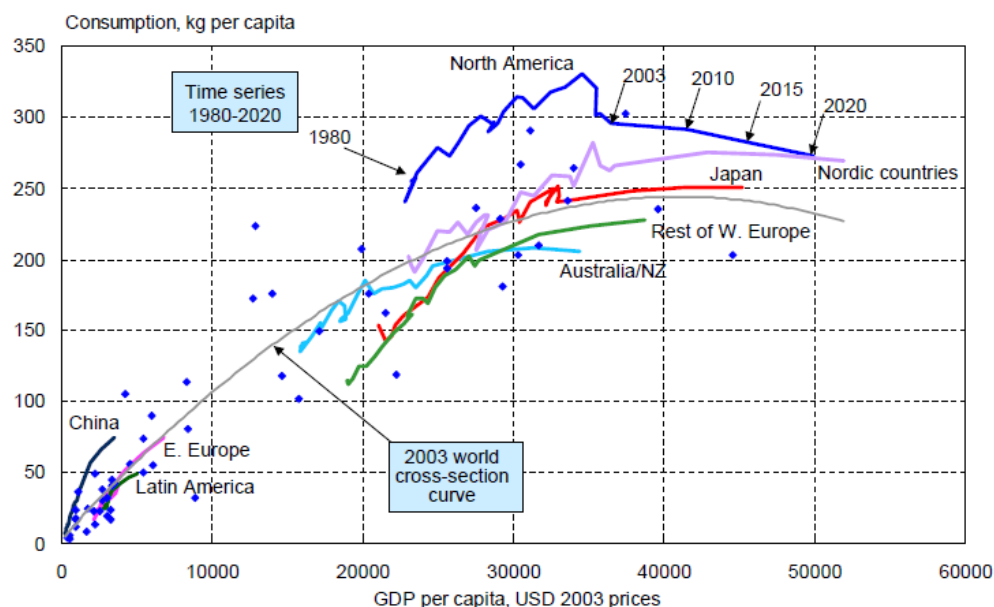


**Figure 70 : Production, consommation et échanges de papier entre 1995 et 2006 dans les principales régions du monde. Source : Estimé à partir de (FAOSTAT, 2010).**

La demande en papier d'un pays dépend fortement de l'évolution de son PIB, c'est-à-dire de son activité économique. La plupart des secteurs économiques ainsi que les ménages consomment du papier. L'industrie consomme principalement du papier d'emballage et du carton alors que les services utilisent majoritairement du papier à usage graphique.

Dans la figure 71, les consommations par habitant semblent également suivre l'hypothèse d' « Intensité d'utilisation » présentée pour la consommation d'acier. Cependant pour le papier, si les

différentes phases sont similaires, le passage à une industrie de service accélère, au contraire, l'augmentation de la demande. Une stabilisation de la demande apparaît aux alentours de 30 000\$ par habitant. Ce palier reflète la saturation du marché et l'acquisition des nouvelles technologies de l'informatique et des télécommunications.



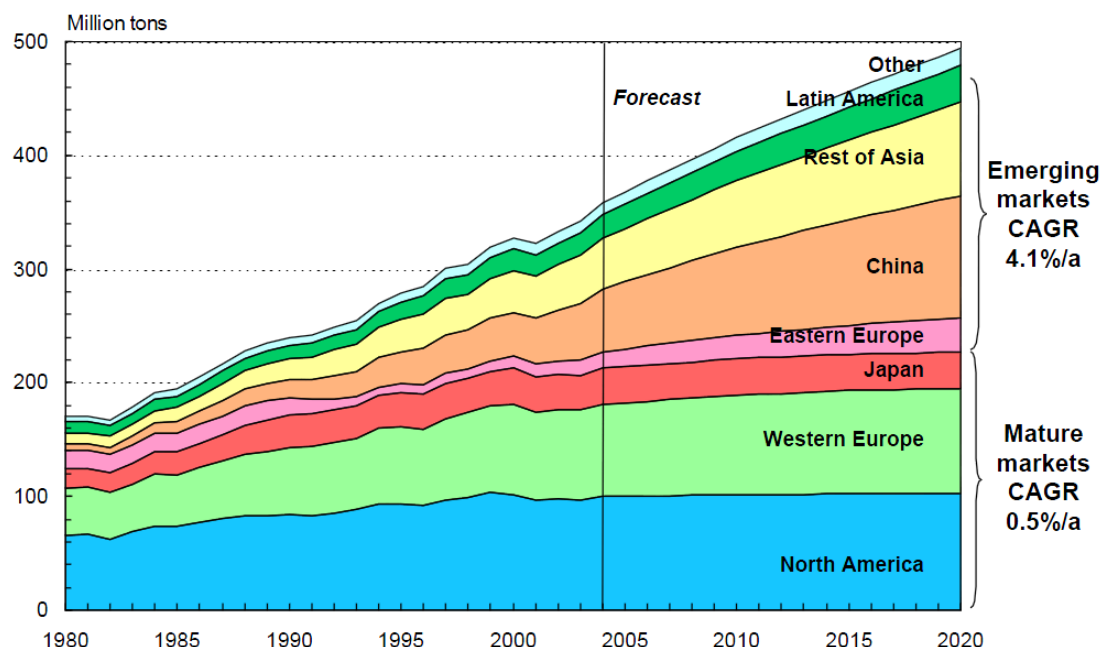
**Figure 71 : Lien entre le PIB par habitant et la consommation par habitant. Source : (Pöyry Forest Industry Consulting Oy, 2007)**

L'élasticité-revenu pour la consommation de papier est donc élevée mais diminue au fur et à mesure que le pays s'enrichit jusqu'à atteindre un certain seuil. Cette saturation de la demande malgré la hausse des revenus se retrouvent dans les analyses quantitatives de McCarthy et Lei qui ont étudié l'évolution de la demande dans quatre grandes régions du monde (NAFTA, Europe, Asie et Amérique du Sud) entre 1961 et 2000. Ils trouvent statistiquement une élasticité-revenu entre 0.2 pour l'Amérique du Nord et 0.8 pour l'Asie. Ainsi, la richesse par habitant augmente bien la consommation mais cet effet est décroissant (McCarthy & Lei, 2010).

Par rapport aux prix du papier, la demande est fortement inélastique dans le court terme et légèrement plus élastique dans le long terme. McCarthy et Lei ont obtenu une élasticité-prix comprise entre -0.03 et -0.05 pour le court terme et entre -0.05 et -0.11 dans le long terme (McCarthy & Lei, 2010). La demande en papier est plus inélastique aux prix que la demande en acier. En effet, il existe peu de substitutions possibles pour le papier, tout du moins pour les papiers graphiques. Le papier répond à des besoins particuliers, pour un faible coût, difficile à remplir par d'autres matériaux.

Les prévisions de consommation de papier envisagent une hausse importante de la consommation mondiale pour les années à venir, en continuité avec l'évolution des années précédentes. La figure 72 présente l'évolution de cette demande depuis 1980 ainsi qu'une prévision à 2020 (Pöyry Forest Industry Consulting Oy, 2007). Historiquement, on observe une croissance continue de la demande de papier d'environ 4.5 % par an en moyenne dans le monde. Cette croissance a eu lieu dans toutes les régions du monde sauf en Europe de l'Est (effondrement du bloc soviétique). Cependant, on note que le rythme de croissance est bien plus élevé pour la Chine et le reste de l'Asie. Entre 2005 et 2020, il est prévu une croissance plus modérée d'environ 2.5 % par an en moyenne. Cette fois, on assistera à

une stagnation de la demande dans les pays développés et à une poursuite de la forte croissance dans les pays émergents. Ainsi, la demande mondiale était d'environ 270 millions de tonnes en 1980, puis de 371 millions de tonnes en 2006. Elle sera selon les prévisions d'environ 495 millions de tonnes en 2020.



**Figure 72 : Evolution et prévision de la demande de papier et de carton entre 1980 et 2020.**  
Source : (Pöry Forest Industry Consulting Oy, 2007)

## ii. L'offre

### *La sidérurgie*

Les producteurs d'acier ont fortement évolué depuis deux décennies, d'industries nationalisées (ou très régulées) à de grands acteurs régionaux et mondiaux. De nombreuses privatisations, restructurations, acquisitions et fusions ont eu lieu dans le secteur. L'emphase a été portée sur l'amélioration de la productivité, l'innovation technologique (la moitié des types d'aciers existants sur le marché aujourd'hui n'existait pas il y a dix ans, (Moreau, 2005)) et une réorientation d'une production de masse vers une production adaptée aux besoins des clients (les sidérurgistes deviennent des « prestataires de services »). Désormais, si les prix de l'acier varient à l'échelle internationale, le marché et la compétition demeurent principalement continentaux. Les relations commerciales et techniques ainsi que des coûts de transports conséquents limitent encore les flux intercontinentaux (Ecorys, 2009).

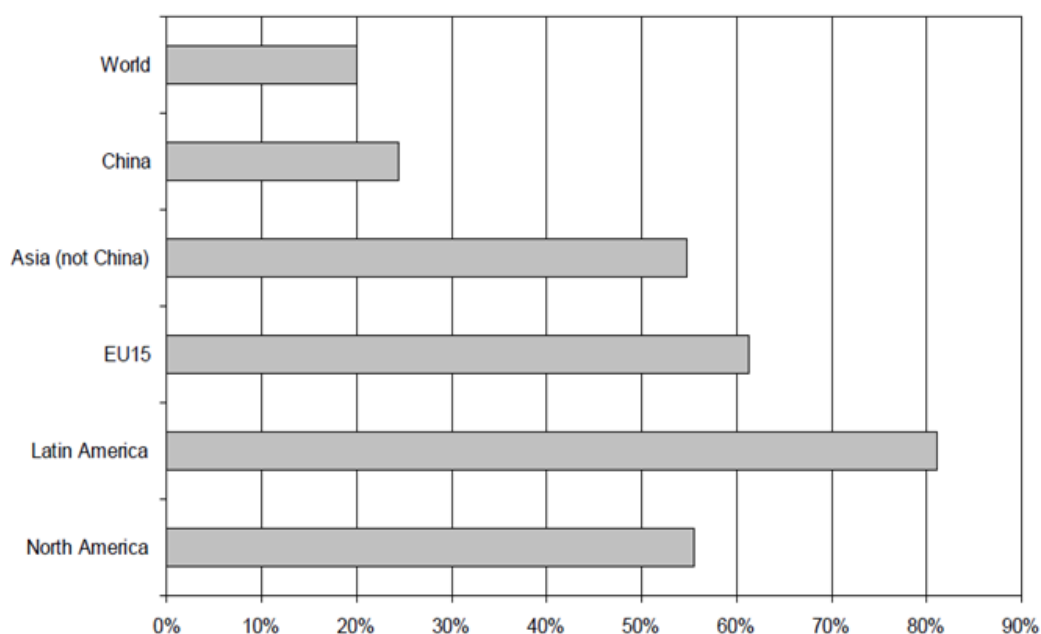
La sidérurgie reste, malgré ces évolutions récentes, une industrie mature, intensive en capital avec la présence de fortes économies d'échelle. Elle est sujette à une cyclicalité importante des marchés et de la rentabilité. En effet, de fortes barrières à l'entrée et à la sortie diminuent la capacité de réaction des acteurs (économies d'échelle, spécificité des actifs, forte intensité capitalistique, globalisation des



clients, forts coûts sociaux en cas de fermeture). Malgré cela, le développement des fours électriques, plus flexibles, et l'augmentation de la concentration des producteurs diminuent cette inertie sectorielle.

Les produits sont pour la plupart standardisés et distingués en catégories précises : aciers carbone (longs et plats), aciers inoxydables (longs et plats) et aciers alliés. La première catégorie représente la majeure partie du volume de production. Elle comprend les billettes (produits longs de faible section pour les tubes ou autres), les « blooms » (produits longs de large section pour les rails ou les ouvrages métalliques) et les brames (produits plats pour les tôles et l'automobile). Les autres types d'aciers présentent une gamme de produits plus diversifiée et sur de plus faibles volumes de production. Notamment, certains aciers alliés constituent des marchés de niche.

Le secteur de l'acier demeure moins concentré que les secteurs en amont et parfois en aval, comme l'automobile ou les équipements domestiques. Les dix plus grands producteurs mondiaux d'aciers représentent 30 % de la production mondiale, alors que ce pourcentage est de 95 % dans l'automobile et de 80 % dans les équipements domestiques. Pour le secteur de la construction, la concentration reste faible. En aval, dans l'extraction de minerai de fer, les trois premiers acteurs recouvrent 70 % de la production mondiale (Ecorys, 2008). La sidérurgie doit donc faire face à un pouvoir de négociation élevé à la fois de la part des fournisseurs de matières premières et des acheteurs. Cela a pour effet de favoriser une concentration plus grande des entreprises sidérurgiques ainsi qu'une intégration verticale plus poussée. Par exemple, ArcelorMittal investit de plus en plus dans sa propre production minière (ex. mine de fer de Yekepa au Libéria). Ainsi, les taux de concentration deviennent de plus en plus significatifs au niveau continental, surtout en Europe, en Amérique du Nord et en Amérique Latine (Figure 73).



**Figure 73 : Part de marché des 5 plus grands producteurs d'aciers par région en 2005**  
Source : (Ecorys, 2008)

Ce constat se retrouve dans l'analyse de l'évolution des dix plus grands producteurs d'aciers mondiaux entre 1995 et 2010 (Tableau 8). En 1995, les principaux producteurs étaient des entreprises de portée nationale, de taille modeste et peu internationalisée. La plupart d'entre elles étaient issues de la privatisation des anciennes entreprises d'état (ex. British Steel, Usinor). Il n'y avait alors aucune entreprise chinoise parmi les plus grands producteurs. Ceux-ci étaient regroupés en Europe de l'Ouest, au Japon, en Corée du Sud et aux Etats-Unis. Ensuite, deux tendances ont marqué la structure des groupes sidérurgiques. D'abord, des fusions-acquisitions massives ont donné naissance à des groupes d'une ampleur bien supérieure en production. La production des entreprises des dix premiers groupes sidérurgistes a doublé en 15 ans, traduisant à la fois la consolidation du secteur de l'acier mais aussi la forte croissance de la production mondiale. En effet, la part de marché de ce groupe de producteurs n'a que légèrement augmenté de 20 % à 24 % des parts de marché mondiale. La seconde tendance est l'apparition de grands groupes provenant des pays émergents, traduisant un basculement du centre de gravité de l'industrie sidérurgique vers de nouvelles régions. Ainsi en 2010, trois groupes chinois étaient dans les dix premiers producteurs mondiaux, ainsi que un ou deux groupes indiens (définition difficile de la localisation géographique d'ArcelorMittal) et un groupe brésilien. Il n'y a plus qu'un groupe américain et un européen (ArcelorMittal). La création du groupe ArcelorMittal est d'ailleurs emblématique de ces deux tendances. Le fondateur du groupe, Lakshmi Mittal, a développé à partir d'usines en Inde et en Indonésie, un groupe international en rachetant d'abord d'anciennes usines sidérurgiques dans différentes régions de la planète, puis les a modernisées et rendues compétitives. L'entreprise est alors sous le nom de LNM à la quatrième place mondiale en 2000, puis à la première place mondiale en 2005 sous le nom de Mittal Steel. En 2006, le groupe effectue alors une offre publique d'achat agressive vers Arcelor, une entreprise issue elle-même du regroupement de plusieurs entreprises européennes comme Arbed et Usinor. En 2010, ArcelorMittal devient le premier producteur mondial d'acier avec une production environ trois fois supérieure à celle du second producteur, Baosteel, un groupe chinois.

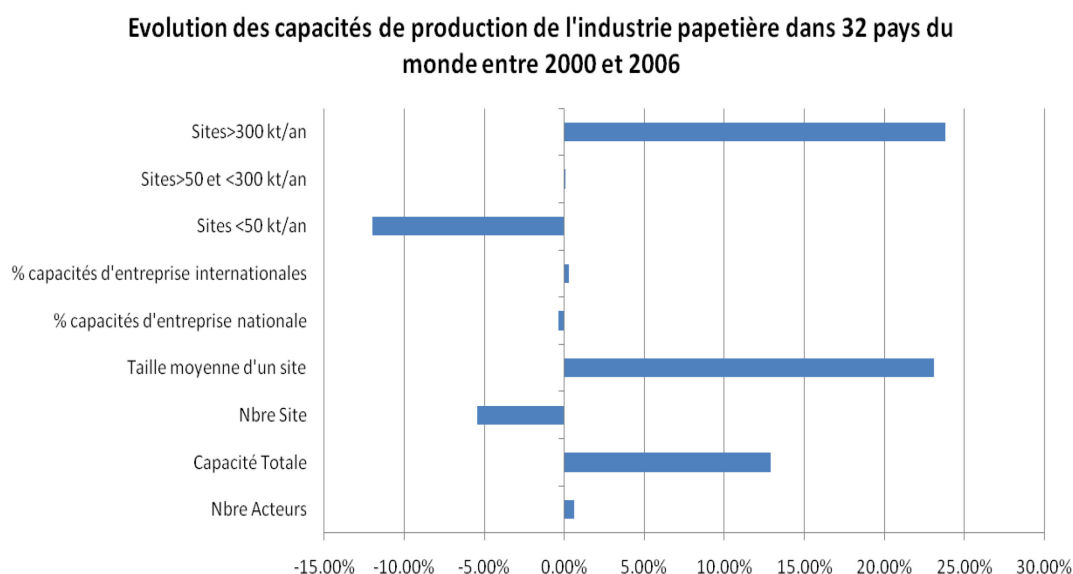
Top 10 Producteurs	1995	Country	Prod.	2000	Country	Prod.	2005	Country	Prod.	2010	Country	Prod.
1	Nippon Steel	Japon	27.8	Nippon Steel	Japon	28.4	Mittal Steel	International	63	Arcelor-Mittal	International	98.2
2	POSCO	Corée du Sud	23.4	POSCO	Corée du Sud	27.7	Arcelor	Europe	46.7	Baosteel	Chine	37
3	British Steel	Royaume-Uni	15.7	Arbed	Luxembourg	24.1	Nippon Steel	Japon	32	POSCO	Corée du Sud	35.4
4	Usinor	France	15.5	LNM	International	22.4	POSCO	Corée du Sud	30.5	Nippon Steel	Japon	35
5	Riva	Italie	14.4	Usinor	France	21	JFE	Japon	29.9	JFE	Japon	31.1
6	Arbed	Luxembourg	11.5	Corus	Europe	20	Baosteel	Chine	22.7	Jiangsu Shagang	Chine	23.2
7	USX	USA	12.1	Baosteel	Chine	17.7	US Steel	USA	19.3	Tata Steel	Inde	23.2
8	NKK	Japon	12	Thyssen-Krupp	Allemagne	17.7	Nucor	USA	18.4	US Steel	USA	22.3
9	SAIL	Inde	10.5	NKK	Japon	16	Corus Group	Europe	18.2	Ansteel	Chine	22.1
10	Kawasaki	Japon	11.1	Riva	Italie	15.6	Riva	Italie	17.5	Gerdau	Brésil	18.7
	Top 10 Part de marché 1995		20 %	Top 10 Part de marché 2000		25 %	Top 10 Part de marché 2005		26 %	Top 10 Part de marché 2010		24 %

**Tableau 8 : Dix plus grandes entreprises productrices d'acier dans le monde entre 1995 et 2010. Sources : Estimé à partir de (Worldsteel Association, 2011)**

*Le papier*

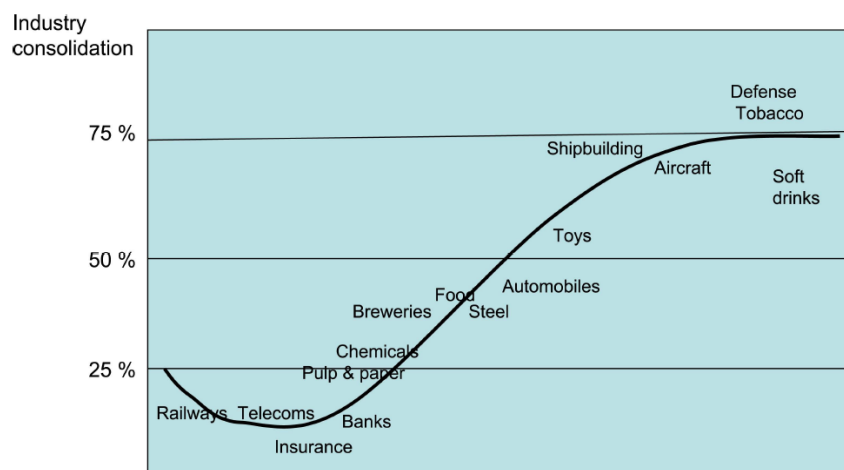
Il existe deux tendances dans l'évolution de la structure de l'industrie papetière. D'une part, au niveau régional, les usines deviennent de plus en plus grandes avec l'évolution technique. Il existe désormais un écart très significatif entre les machines modernes de grandes tailles et la moyenne des machines plus âgées. Notamment, en 2005, 449 machines à papier sur 7700 avaient une capacité de production supérieure à 200 000 tonnes par an, représentant à elles seules environ 35 % de la capacité mondiale (Diesen, 2007). On tend donc vers l'émergence de quelques grandes usines fournissant toute la zone régionale pour les papiers à faible potentiel de différenciation. Les usines produisant pour un marché national auront de plus en plus de mal à pouvoir concurrencer les grands groupes régionaux et leurs économies d'échelle, sauf si elles sont placées sur des segments spécifiques ou si elles ont recours à des ressources abondantes localement (ex. vieux papiers). Ainsi, les anciennes et petites usines auparavant orientées vers les marchés nationaux vont alors probablement fermer. Pour chaque région, on peut supposer qu'il existera dans un futur proche peu d'usines mais celles-ci seront de très grandes tailles et fourniront la région entière. En parallèle, de multiples petites usines fourniront un marché local pour des papiers spéciaux (avec peu d'économies d'échelles).

On retrouve cette tendance dans la figure 74 représentant l'évolution des capacités de production entre 2000 et 2006 pour les principaux pays producteurs de papier. On note une forte augmentation (24 %) du nombre de site de capacité supérieure à 300 000 tonne par an. Inversement, on assiste à un grand nombre de fermeture de petites usines de moins de 50 000 tonnes par an (-12 % en six ans). Par exemple, en France, 34 % des 91 usines papetières (pour papiers graphiques et cartons) ont fermé en dix ans, à partir de 2000, alors que seules deux usines ont ouvert. La capacité totale n'a cependant diminué que d'environ 8 %. Il existe donc un accroissement de la taille moyenne des usines. Dans le graphique, le pourcentage moyen d'entreprises internationales dans les capacités de production d'un pays n'a cependant pas évolué en 6 ans alors que la concentration mondiale augmente durant la même période. Les entreprises ont donc cherché à se renforcer sur leur marché national en augmentant leurs capacités de production et non à s'implanter hors de leur région d'origine.



**Figure 74 : Evolution des capacités de production de l'industrie papetière dans 32 pays du monde entre 2000 et 2006 Calcul à partir de données (RISI, 2011)**

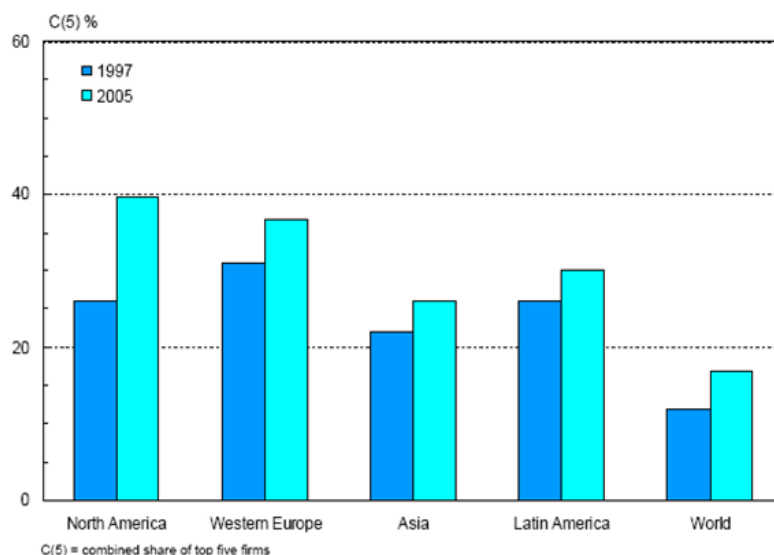
D'autre part, la concentration actuelle des acteurs est faible si on l'aborde avec une perspective mondiale. A cette échelle, les dix premières entreprises papetières (hors papiers hygiène, domestique ou spécifiques) regroupent environ 27 % des capacités de production en 2006. Ce chiffre est moins élevé que dans de nombreux autres secteurs industriels, notamment vis-à-vis de la sidérurgie (Figure 75).



**Figure 75 : Différence de concentration (parts de marché des trois plus grandes entreprises sur secteur dans le monde) selon les industries en 2001 (Kroeger et al., 2008)**

Par la suite, au niveau international, l'internationalisation des entreprises va éventuellement se développer non pas entre grandes régions industrialisées mais entre régions industrialisées et zones émergentes. Certains groupes cherchent à se développer à la fois dans l'hémisphère nord, avec une forte demande en papier et des ressources en vieux papier, et dans l'hémisphère sud, profitant des bois à fort rendement et d'une forte croissance (Coface, 2011). De tels exemples existent déjà avec les groupes SAPPI et Mondi qui possèdent des capacités dans les hémisphères Sud et Nord. De plus, de nombreux grands groupes internationaux de l'hémisphère nord cherchent à investir dans la production de pâte en Amérique du Sud (ex. Stora Enso, International Paper), (PwC, 2007).

Cependant, l'analyse des secteurs du papier au niveau régional et par catégorie de papier indique des niveaux de concentration modérément élevés. En Europe, les dix premières entreprises papetières en volume (hors papier à usage hygiénique, domestiques ou spécifiques) regroupent environ 52 % des parts de marchés. De même, dans l'industrie du papier non couché mécanique, les parts de marchés des cinq premières entreprises étaient de 55 % dans le monde en 2005 (Diesen, 2007). Dans un segment particulier de papier et dans une région particulière, le pouvoir de marché des producteurs est bien plus important (Figure 76). Toutefois, si les grands acteurs représentent une part de marché importante, il n'existe pas d'acteur unique dominant un marché. La rivalité conséquente de ces acteurs explique en partie la faible rentabilité des entreprises du secteur papetier malgré la hausse de la concentration (Uronen, 2010). Les marchés du papier sont encore fortement régionalisés. En 2000, seulement 10 % des compagnies papetières possédaient des usines de production hors de leur région d'origine (Lamberg et al., 2007). Ce constat reste vérifié actuellement malgré les engagements récurrents de stratégie à l'internationalisation des grandes entreprises. Par exemple, le papetier finlandais Stora Enso a acheté le groupe américain Consolidated Paper, en 2000, pour finalement se retirer d'Amérique du Nord en 2007 (Uronen, 2010).



**Figure 76 : Evolution de la concentration des parts de marché des 5 premiers groupes papetiers dans différentes régions du monde entre 1997 et 2005. Source : (Diesen, 2007)**

Il y a eu de nombreux mouvements de fusions et d'acquisitions depuis le début des années 1990. Ainsi entre 1980 et 2005, plus de 50 compagnies ont fusionné (Diesen, 2007). Mais s'il y a une tendance à la concentration, elle reste encore moins marquée que dans la sidérurgie. Cette augmentation de la concentration est bien plus marquée en Amérique du Nord et en Europe de l'Ouest que dans les pays émergents. Les barrières à l'entrée sont modérées et relativement plus basses que dans la sidérurgie. En effet, même si les coûts d'investissements sont importants, l'accès à la technologie de production est facilité par la présence de fournisseurs de machines à papiers puissants et fortement concentrés au niveau international. Les entreprises papetières ont fortement externalisé leur R&D et possèdent donc peu de différenciation technique avec les concurrents. Un nouvel entrant potentiel peut directement acheter les dernières machines de production à la pointe malgré une faible expérience de la production : « *Equipment suppliers have consolidated into a few big and global companies. This has made easy for pulp and paper producers to get the best available technology everywhere* » (Lamberg et al., 2007).

Il existe une forte segmentation du marché papetier (Romme, 1994). La pâte à papier peut d'abord être séparée des autres produits papetiers ; celle-ci étant un produit intermédiaire dans la fabrication du papier. On peut ensuite discerner les différentes catégories de papier selon divers critères :

- *Mode de production* : à grande échelle ou papiers spécifiques à faible volume.
- *Composition de la clientèle* : industriels pour l'emballage, entreprises pour la bureautique, industrie de l'édition et de la presse pour les papiers journaux et d'impression, ménages pour les papiers graphiques et sanitaires.
- *Taille du marché* : papier avec une production à grand volume ou papier spécialisé.
- *Qualité du papier ou du carton* : ex. ajout d'une couche pour améliorer les qualités de surface, Composition du papier ou du carton en pâte vierge ou recyclée.

Tous ces facteurs différencient les papiers en grandes familles dans lesquelles la substitution est importante; les papiers journaux, les papiers d'impression et d'écriture, papiers et cartons d'emballage, papier sanitaires et papiers spéciaux (Tableau 9). Les papiers à usages graphiques ainsi que les papier et cartons d'emballages sont les principaux produits du marché papetier. Les caisses ou boîtes en carton représentent environ 31 % de la production, suivi par les papiers couchés, les papiers journaux et les cartons/boîtes pliantes. Les papiers à usage hygiénique et les papiers spéciaux représentent 12 % de la production mondiale et constituent un marché à part.

Une forte différenciation verticale des produits papetiers existe (Figure 77). La différenciation horizontale est également de plus en plus présente. Néanmoins, la différenciation des produits n'est pas la stratégie principale des grands groupes papetiers. Contrairement à la sidérurgie, les producteurs ne tendent pas encore vers une production flexible aux attentes des clients. La stratégie de « cost leadership » reste encore dominante, le but principal étant d'obtenir les coûts de fabrication les plus faibles afin de gagner le maximum de part de marché (Porter, 1980).

Catégories	Sous-types	Exemples
Papier journaux	Papier journal	Journaux Encarts
	Papier journal amélioré	Journaux, suppléments, magazines de basse qualité, annuaires...
Papier d'impression et d'écriture	Papier supercalandré (SC) ou papier non couché mécanique	Magazines, publicités commerciales, journaux
	Papier couché mécanique	Magazines, couvertures, catalogues, livres
	Papier fin non couché sans bois (pâte chimique)	Impression, bureautique, enveloppes, livres, dictionnaires,...
	Papier couché fin sans bois (pâte chimique)	Magazines de haute qualité, catalogues et brochures, livres, papiers d'arts
	Papier fin spécifique sans bois (pâte chimique)	Papier pour copie, manuels,...
Papier et cartons d'emballage et de conditionnement	Papier d'emballage	Ecrus ou blanchis, frictionnés... Utilisation très variée : sacs krafts pour emballer les fruits et légumes, sac de ciment...
	Carton plat	Intérieur bois ou gris, couché ou non couché Boîtes pâtisseries, pour cigarettes, pour parfums, présentoirs pour la distribution
	Carton ondulé	Industrie, palettes de transport, grande distribution
Papiers hygiènes	Papier crêpé Autres papiers	Papier toilette Mousseline, serviettes, mouchoirs
Papiers industriels et spéciaux	Usages fiduciaires Usages graphiques Autres usages	Billets de banque, papiers officiels Papiers transfert... Cigarettes, abrasifs, filtres

**Tableau 9 : Classification des différents produits papetiers**

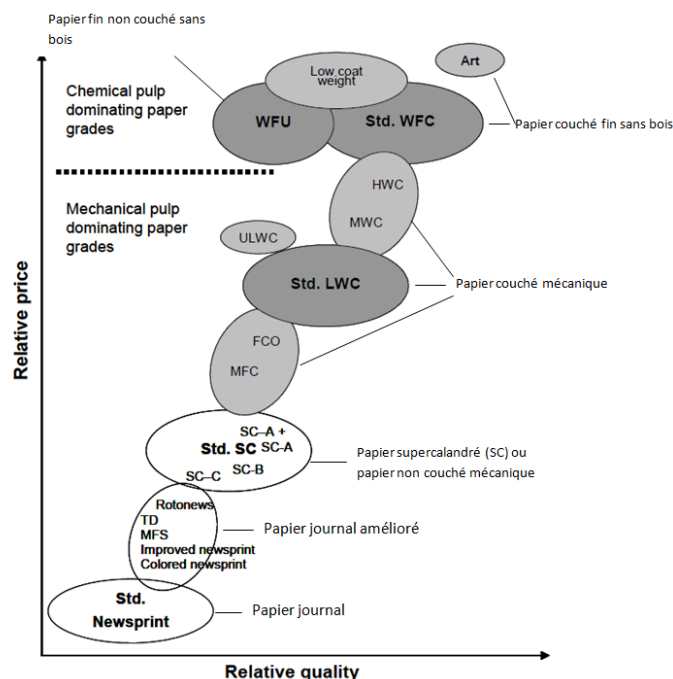


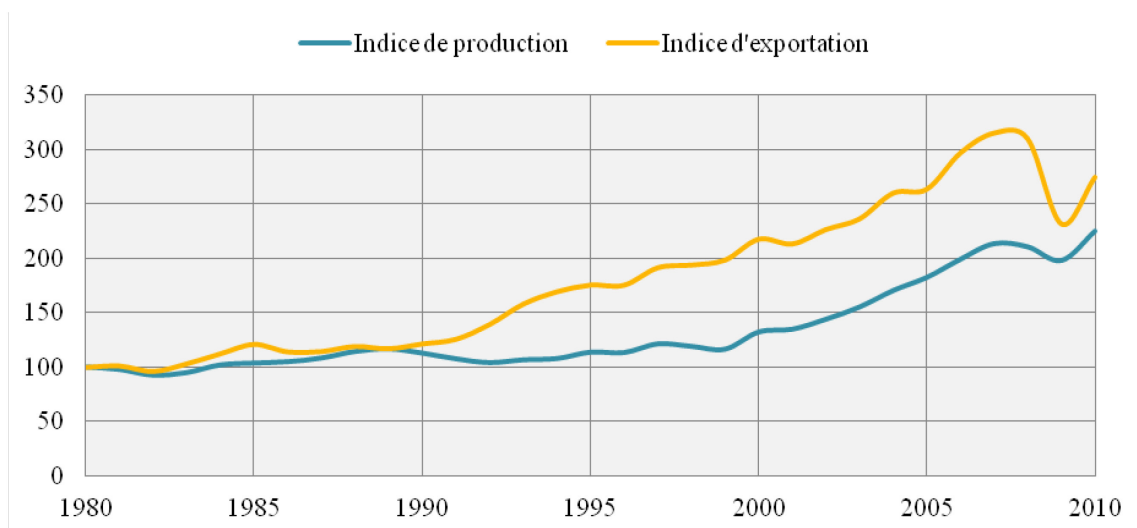
Figure 77 : Différenciation des papiers à usages graphiques selon la qualité relative et le prix. Source : (Haarla, 2003)

### 2.1.3.3) LE COMMERCE ET LA COMPETITIVITE INTERNATIONALES

#### i. Un équilibre relatif des marchés mondiaux dans la sidérurgie

Entre 1980 et 1990, la production ainsi que les échanges internationaux sont restés à des niveaux stables dans la sidérurgie (Figure 78). Alors que cette tendance à la stagnation s'est poursuivie pour la production et donc la demande mondiale, les échanges ont rapidement augmenté et ont doublé en dix ans. Cette période correspond d'ailleurs au début de la période de restructuration et de fusions/acquisitions de la sidérurgie mondiale. Puis, dans les années 2000, la demande a également connu un essor, comparable à celui des échanges commerciaux, principalement du fait de l'émergence de la Chine et des autres pays émergents. Enfin, la crise de 2008 a plus fortement affecté les échanges internationaux que la production mondiale. La baisse de la demande s'est principalement répercutée sur les importations.





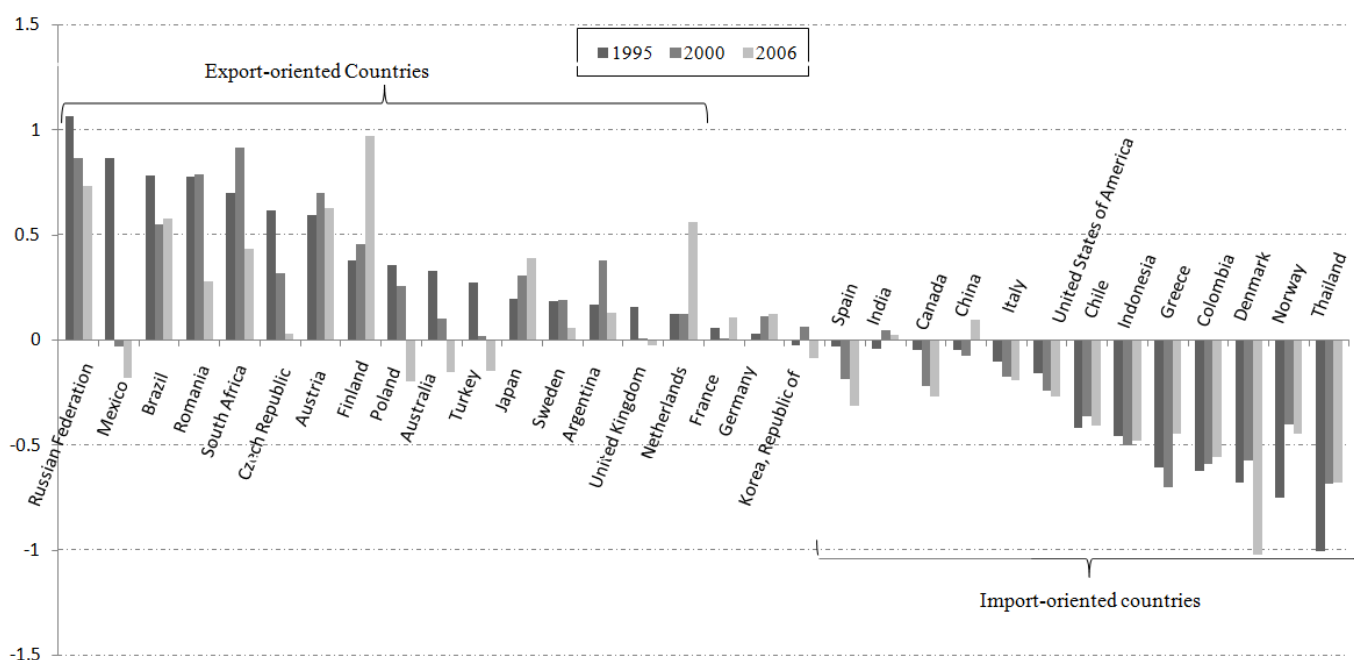
**Figure 78 : Evolution comparée de la production et des échanges internationaux d'acier dans le monde entre 1980 et 2010. Indice 100 : 1980.**

**Source: Estimé à partir de (Worldsteel Association, 2012).**

On peut distinguer le positionnement sur les marchés internationaux des industries nationales de l'acier selon trois groupes en fonction du volume des exportations et des importations ainsi que du solde net. Dans le premier groupe, on retrouve des pays fortement orientés vers l'exportation. Ce groupe comprend la Russie qui possède le solde net le plus élevé grâce à des coûts de production très faibles (abondance et proximité des matières premières et des ressources énergétiques) et à une forte concentration du secteur (Iperti, 2005). Le Japon est également inclus dans ce groupe, profitant de la croissance forte des marchés asiatiques pour exporter. L'Ukraine, le Brésil et l'Afrique du Sud peuvent aussi être intégrés à ce premier groupe. Puis, les pays avec une forte demande et une industrie développée, exportant et important des volumes importants forment un second groupe. Ce groupe comprend notamment les pays de l'Union européenne, la Chine et la Turquie. Le cas de la Chine est particulier car le pays est le premier importateur et le 5<sup>ème</sup> exportateur mondial (Worldsteel Association, 2011), cependant ses volumes d'échanges restent relativement faibles par rapport à la production et à la demande domestique. Enfin, le dernier groupe réunit les pays avec une industrie sidérurgique peu compétitive. Ces pays exportent peu et importent beaucoup afin de satisfaire leur demande domestique : ex. Etats-Unis, Thaïlande, Indonésie et Danemark.

La figure 79 décrit le solde net d'acier en volume par pays divisé par la consommation domestique. Ce ratio indique les pays orientés vers l'exportation et ceux vers l'importation. On retrouve les différents groupes présentés ci-dessus. Notamment, les compétitivités fortes de la Russie, du Brésil et l'Afrique du Sud dans la sidérurgie sont clairement visibles. A l'inverse, en 2006, quatre pays présentent un solde net négatif de plus de la moitié de leur consommation domestique : Thaïlande, Danemark, Colombie et Indonésie.

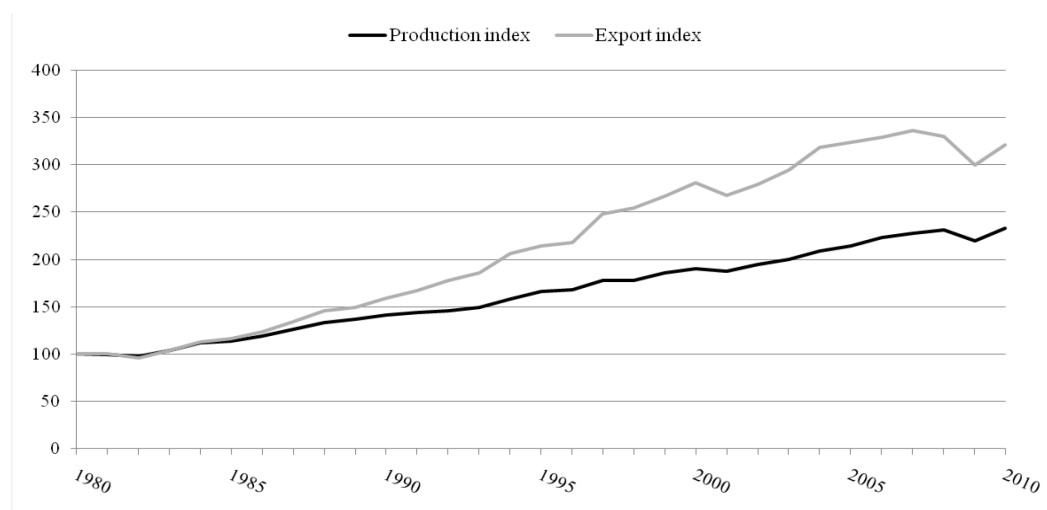
D'un point de vue dynamique, on peut noter la très forte baisse du solde net dans plusieurs pays entre 1995 et 2006 : Mexique, Pologne, Turquie, Espagne, Canada et Danemark. Au contraire, la Finlande et les Pays-Bas ont considérablement amélioré leur solde commercial. De même, si la sidérurgie chinoise ne présente pas d'évolution importante, comme elle produit environ la moitié de la production mondiale, le passage du statut d'importateur net à celui d'exportateur peut fortement modifier les marchés mondiaux.



**Figure 79 : Solde net sur consommation domestique d'acier en volume dans le monde en 1995, 2000 et 2006. Source: Estimé à partir de données (Worldsteel Association, 2012)**

## ii. Une concurrence internationale accrue dans le papier

Les échanges commerciaux de papier ont plus fortement augmenté durant les dernières décennies que dans la sidérurgie. Le volume des exportations dans le monde a été multiplié par 3.2 entre 1980 et 2010, avec un taux de croissance continu de 4.1 % par an en moyenne. Dans le même temps, la production mondiale de papier a augmenté de 2.9 % par an (Figure 80). L'augmentation des échanges internationaux de papier est donc plus rapide que celle de la production ou de la demande. Cette tendance implique donc un accroissement de la compétition entre les producteurs nationaux.



**Figure 80 : Evolution comparée de la production et des échanges internationaux de papier dans le monde entre 1980 et 2010. En quantité. Indice 100 : 1980. Source: Estimé à partir de données (FAOSTAT, 2010)**

Comme dans la sidérurgie, trois groupes de pays peuvent être distingués par leur positionnement sur le marché international du papier. D'abord, le premier groupe réunit les pays qui exportent et importent abondamment de tous les types de papier : Etats-Unis, Allemagne, France. Ces pays possèdent un important marché domestique parvenu à maturité<sup>39</sup>. Les producteurs de papier ont un accès facile aux papiers recyclés, en étant situés à proximité des centres urbains. Ces pays échangent souvent des produits différenciés (Zhang & Buongiorno, 2007). Le second groupe de pays est composé de pays avec des exportations massives et de faibles volumes d'importation, tels que la Finlande, la Suède et le Canada. Leur industrie papetière est orientée vers le commerce international. Elle est organisée dans le cadre d'un regroupement efficace de l'industrie forestière (« forest clusters »), (Romme, 1994). La demande domestique est souvent limitée, mais ces pays profitent d'abondantes ressources en bois. Enfin, le dernier groupe représente les grands importateurs de papier avec des volumes d'exportations faibles : Royaume-Uni, Pays-Bas, Inde. Le demande domestique est forte mais leur industrie papetière est peu développée ou peu compétitive.

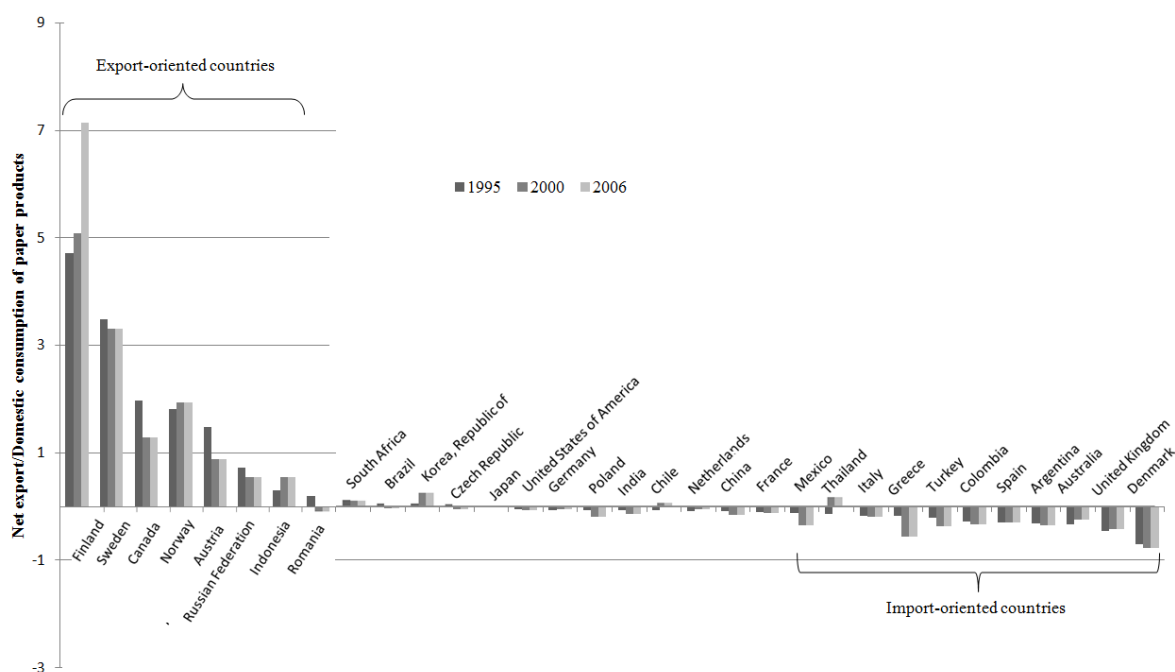
La figure 81 décrit le solde net des exportations de produits papetier, en volume, divisé par la consommation domestique. Cinq pays exportateurs se distinguent avec un solde net positif deux fois supérieur à leur consommation domestique : Finlande, Suède, Canada, Norvège et Autriche. Les exportations du Canada, de la Finlande et de la Suède ont représenté environ 30 % des échanges mondiaux de produits papetiers en 2000. Ce groupe de pays possède un avantage compétitif évident dans la production de papier. Bien que l'Allemagne et les Etats-Unis soient les principaux exportateurs mondiaux de papier en volume, ils importent aussi massivement. A l'inverse, trois pays possèdent un solde net très négatif : Danemark, Royaume-Uni et Australie. Notamment, le Danemark importe une très forte proportion de sa demande en papier.

Entre 1995 et 2006, la compétitivité des industries nationales papetières a suivi différentes tendances selon les pays. Le ratio du solde net sur la consommation du Canada a progressivement diminué pour devenir inférieur à celui de la Norvège en 2006. Au contraire, la Finlande, la Norvège et l'Indonésie ont fortement amélioré leur position sur le marché international. Les déficits commerciaux en papier du Mexique, de la Turquie et du Danemark se sont creusés entre 1995 et 2006.

Ces chiffres mettent en évidence l'augmentation du niveau de compétition entre les pays sur le marché international du papier. Certains pays sont des acteurs majeurs de ce marché, reflétant ainsi la présence d'avantages comparatifs. D'autres pays sont dépendants des importations de papier pour leur consommation domestique et n'ont pas réussi à développer une industrie domestique compétitive. De plus, le classement des nations exportatrices de papier s'est modifié durant la période de l'étude. Certains pays s'adaptent plus facilement aux évolutions du marché. Puisque l'énergie représente une part significative des coûts de production, il est alors pertinent de comprendre l'influence d'asymétries des prix de l'énergie sur ces changements de compétitivité.

---

<sup>39</sup> Un marché parvenu à maturité est un marché qui existe depuis une longue période, sur lequel la technologie de production utilisée est bien connue, largement utilisée et évolue peu. Sur ce type de marché, la demande est relativement stable, voire en baisse.



**Figure 81 : Ratio du solde net sur la consommation domestique de papier en volume dans le monde en 1995, 2000 et 2006. Source: Estimé à partir de données (FAOSTAT, 2010)**

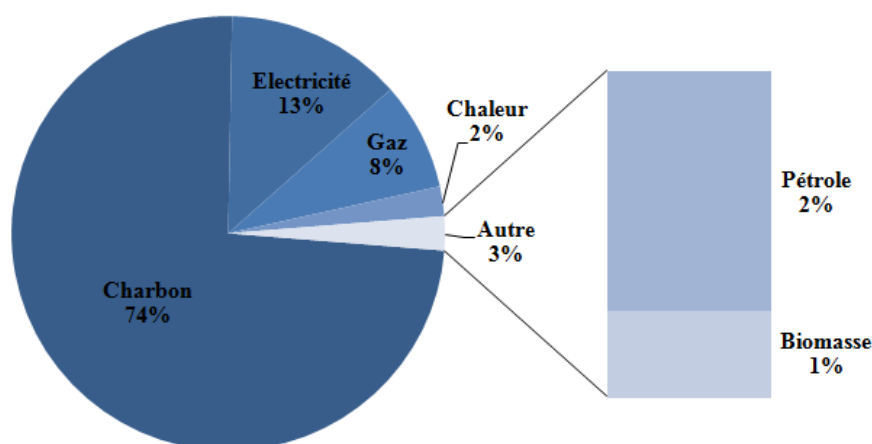
#### 2.1.4) L'ÉNERGIE DANS LES COÛTS DE PRODUCTION DES INDUSTRIES DE L'ACIER ET DU PAPIER

Afin de comprendre l'effet des coûts de l'énergie dans ces deux industries, il faut dans un premier temps connaître la place actuelle de l'énergie dans leurs coûts de production. Une comparaison avec les autres sources de coûts est alors possible. Plus généralement, il convient de mieux saisir les problématiques et les enjeux de l'énergie dans les industries de l'acier et du papier, telles que la régulation ou l'efficacité énergétique.

##### 2.1.4.1) L'ÉNERGIE DANS LA SIDERURGIE : DEUX PROCÉDES TRÈS DISTINCTS

En 2009, l'industrie sidérurgique a consommé 593 Mtep d'énergie dans le monde, dont surtout du charbon (74 %). Le charbon est utilisé à la fois pour produire de la chaleur et comme matière première dans la production d'acier (Figure 82). Le reste de la consommation est réparti entre l'électricité (13 %), le gaz (8 %), la chaleur (3 %), les produits pétroliers (2 %) et la biomasse (1 %), (Enerdata, 2010). Cette énergie représente 24 % de la consommation totale de l'industrie manufacturière mondiale. C'est le second secteur industriel en consommation d'énergie après la chimie<sup>40</sup>. La consommation d'électricité représente 78 Mtep, soit environ l'équivalent de toute la consommation d'électricité de l'industrie dans l'Union européenne. Si cette répartition de la consommation a peu évolué avec les années, le volume total de consommation a augmenté de 43 % entre 1995 et 2009, à un rythme légèrement plus rapide que celui de l'industrie manufacturière dans son ensemble.

<sup>40</sup> Si l'on tient compte de la consommation d'énergie comme matières première dans la chimie.



**Figure 82 : Répartition de la consommation d'énergie dans la sidérurgie mondiale en 2009.**  
**Source : Estimé à partir de (Enerdata, 2010)**

La consommation d'énergie dans la sidérurgie est très différente selon le procédé utilisé. Il y a deux méthodes basiques de production d'acier brut, (IEA, 2007):

- Les hauts-fourneaux avec injection d'oxygène consommant principalement du charbon et du minerai de fer. Ce procédé représente environ 62 % de la production d'acier brut.
- Les fours à arc électrique consommant surtout de l'électricité et de la ferraille. Ce procédé produit à peu près 34 % de l'acier mondial.

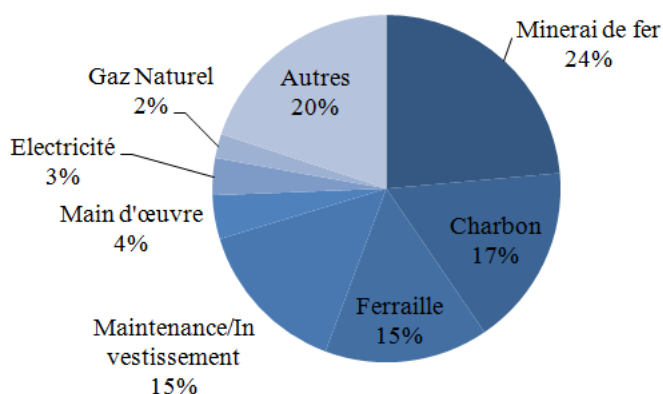
Les coûts moyens par poste de dépense ont été calculés sur la base de cinq usines réparties à travers le monde<sup>41</sup> pour chacun de ces deux procédés (Figures 83 et 84). Les répartitions sont différentes selon le procédé utilisé. Dans les hauts-fourneaux, le minerai de fer (24 %) et le charbon (17 %) représentent les principales dépenses, alors que la ferraille constitue environ les deux tiers des coûts de production dans les fours à arc électrique. La ferraille est également présente dans les dépenses des hauts-fourneaux à la hauteur de 15 % des coûts. Ensuite, les coûts de l'électricité sont plus importants dans les fours à arc électrique, avec 11 % des coûts, que dans les hauts-fourneaux où ils représentent 3 %. La part de la main d'œuvre est à peu près équivalente dans les deux procédés, aux alentours de 5 % des coûts de production. Enfin, les dépenses d'investissement et de maintenance sont bien plus élevées dans les hauts-fourneaux (15 %) que dans les fours à arc électrique (5 %), reflétant ainsi la plus petite taille et la plus grande flexibilité de ces usines (« mini-mills »).

L'énergie équivaut donc à environ 22 % des coûts de production pour les hauts-fourneaux et à 11 % dans les fours à arc électriques. Ces derniers sont donc moins sensibles aux variations des prix de l'énergie dans l'ensemble mais demeurent attentifs aux prix de l'électricité en particulier. Il existe des différences considérables dans l'efficacité énergétique des hauts-fourneaux à travers le monde. L'écart de consommation spécifique entre les pays avec la plus faible et la plus haute consommation spécifique pour les hauts-fourneaux est de 50 %. Ces écarts proviennent de variations dans la taille des usines<sup>42</sup>, dans le niveau de récupération de la chaleur, dans la qualité du minerai de fer et dans le contrôle de la qualité (IEA, 2007). Dans le monde, l'industrie sidérurgique a significativement

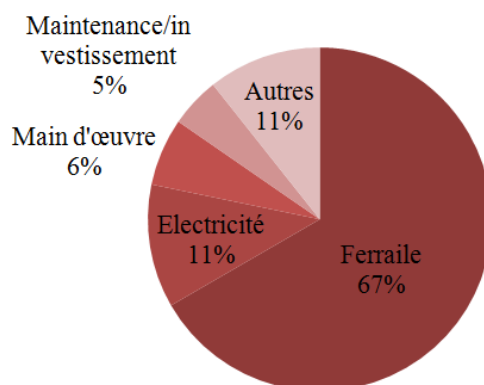
<sup>41</sup> France, Etats-Unis, Brésil, Chine, Russie et Ukraine

<sup>42</sup> Un grand haut-fourneau consomme moins d'énergie grâce à une perte de chaleur plus faible et à une plus grande rentabilité économique d'installer des équipements d'efficacité énergétique (IEA, 2007).

amélioré son efficacité énergétique durant les deux dernières décennies. Mais cette tendance a été contrebalancée par l'émergence extrêmement rapide de la Chine où les usines possèdent une efficacité énergétique relativement faible (IEA, 2007). Les principaux facteurs d'amélioration de l'efficacité énergétique sont l'introduction de la coulée continue, les systèmes de récupération de la chaleur, l'injection de charbon pulvérisé et les brûleurs à récupération<sup>43</sup>.



**Figure 83 : Répartition des coûts de production dans un haut-fourneau en 2010**  
Moyenne sur 5 sites de production en France, aux Etats-Unis, en Russie, en Chine et au Brésil.  
Source : Estimé à partir de (CRU, 2011)



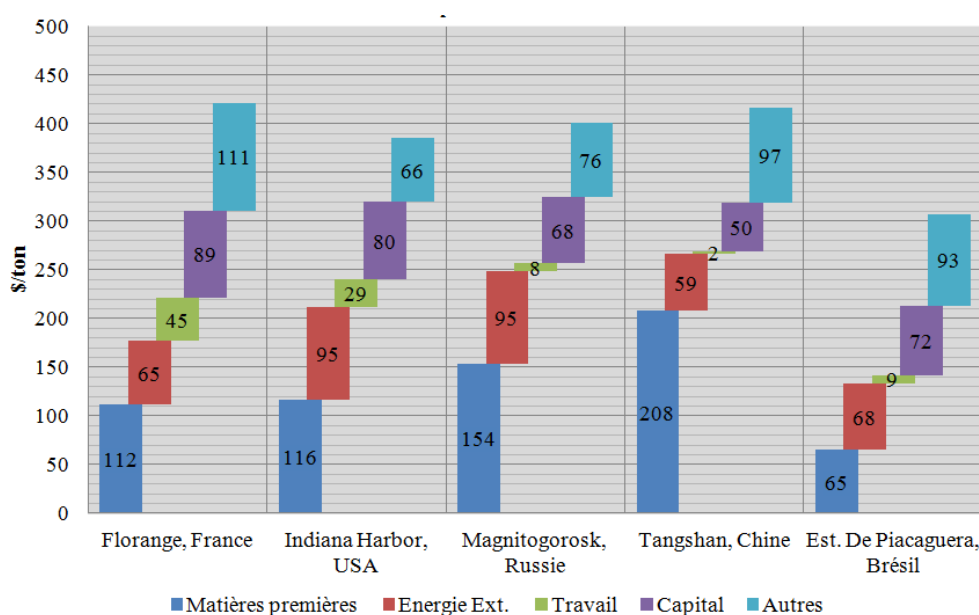
**Figure 84 : Répartition des coûts de production dans un four à arc électrique en 2008**  
Moyenne sur 5 sites de production en France, aux Etats-Unis, en Ukraine, en Chine et au Brésil.  
Source : Estimé à partir de (CRU, 2011)

Afin de comparer les coûts de l'énergie, et plus globalement les coûts de production entre pays, cinq usines en France, Etats-Unis, Russie, Chine, Brésil et Ukraine sont comparées à la fois pour les usines intégrés et les fours à arc électriques (Figures 85 et 87). Dans un premier temps pour les hauts-fourneaux, on note des différences majeures dans le coût des matières premières et de la main d'œuvre. En Chine, les prix du minerai de fer sont très élevés en 2004 et l'utilisation de ce minerai est peu optimisée (CRU, 2011), d'où une part très importante de la matière première dans les coûts de production. En revanche, le coût de la main d'œuvre y est négligeable à environ 2\$ par tonne d'acier fini contre 29\$/t aux Etats-Unis et 45\$/t en France. Les coûts de l'énergie sont les plus élevés aux Etats-Unis et en Russie à 95\$/t contre environ 65\$/t dans les autres pays. La Russie possède pourtant d'abondantes ressources énergétiques mais est pénalisée par une faible efficacité énergétique. Pour les

<sup>43</sup> Dans les brûleurs à récupération, le gaz et l'air préchauffé sont injectés dans la chambre de combustion.

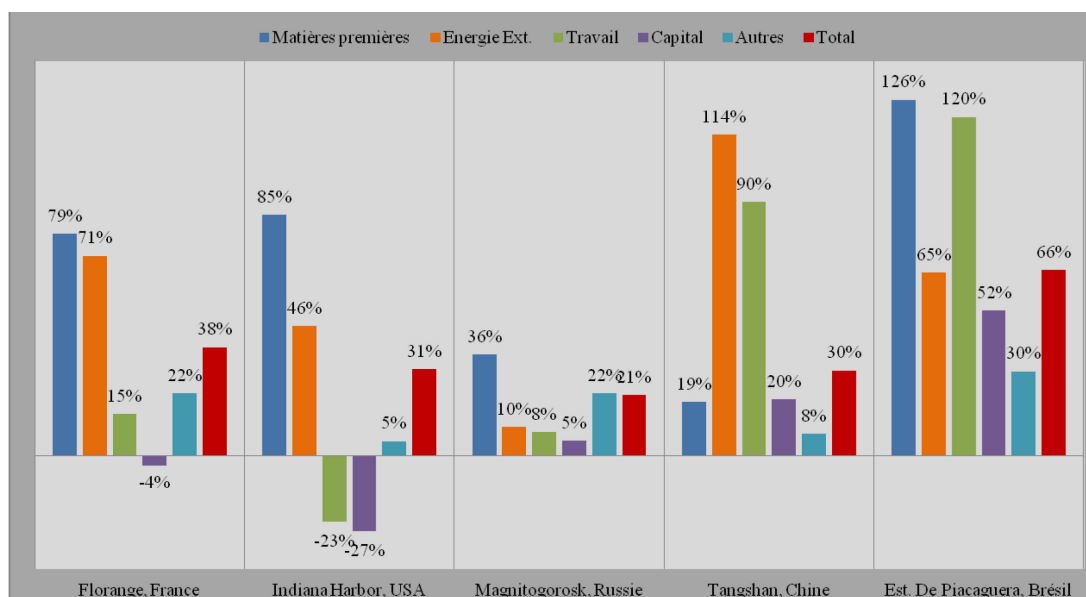
fours à arc électrique, on note que les coûts de la ferraille sont bien plus élevés en France que dans les autres pays. C'est d'ailleurs le prix de la ferraille qui désavantage principalement le site de Neuves-Maisons, malgré des coûts assez bas pour l'électricité. Comme pour les hauts-fourneaux, les salaires sont plus faibles en Chine, mais l'écart entre pays émergents (Brésil, Russie) et les pays développés (Etats-Unis et France) n'est pas présent. Les salaires étant plus faibles dans les pays émergents, cela reflète une faible productivité du travail. On peut s'apercevoir que les écarts importants du coût de la main d'œuvre peuvent permettre de compenser des écarts de coûts sur la matière première ou sur l'énergie, même si la main d'œuvre ne représente pas le poste de dépense principal.

Si on analyse l'évolution de ces coûts dans les mêmes usines entre 2004 et 2010, on constate une élévation commune du coût des matières premières et de l'énergie. Cette évolution correspond à une élévation globale du prix de ces produits, même si des contrastes importants existent entre les continents. Notamment, les coûts liés à l'énergie ont augmenté de plus de 60 % en France, en Chine et au Brésil. A l'inverse, ces coûts ont été très stables en Russie, notamment par une forte amélioration de l'efficacité énergétique des usines. On note également une baisse des coûts du travail et du capital aux Etats-Unis, qui est éventuellement liée à des restructurations de l'outil de production (baisse du nombre d'employés et des investissements).



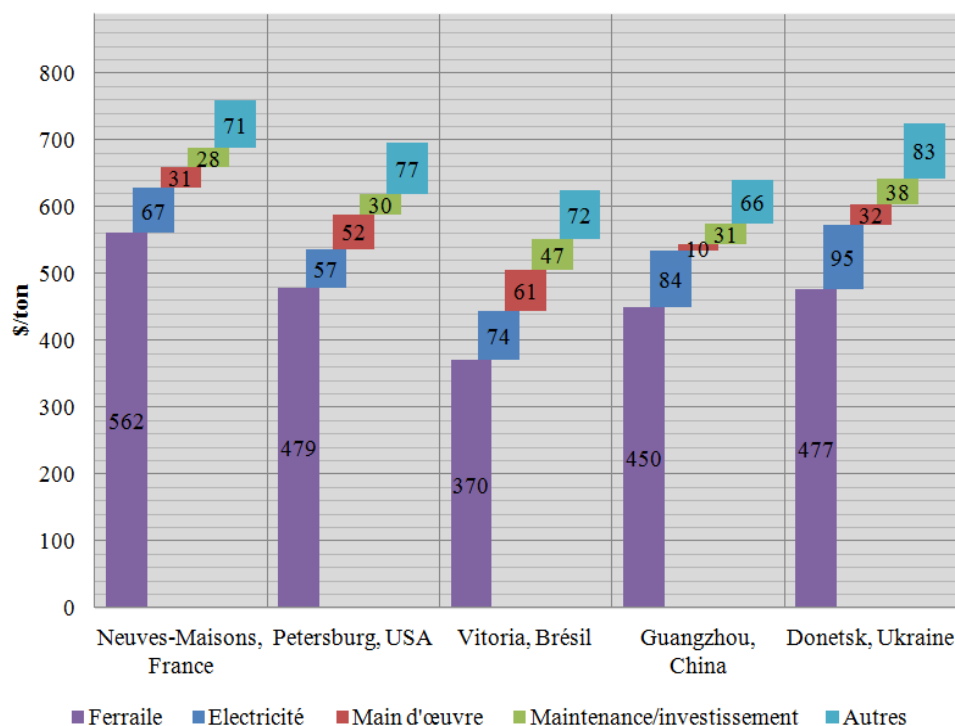
**Figure 85 : Coûts de production de l'acier plat dans 5 usines intégrées en 2004.**  
Source : Estimé à partir de données (CRU, 2011)





**Figure 86 : Evolution des coûts de production de l'acier plat dans 5 usines intégrées dans le monde entre 2004 et 2010**

Source : Estimé à partir de données (CRU, 2011)



**Figure 87 : Coûts de production de l'acier plat dans 5 usines avec des fours à arc électrique en 2008 (\$/tonne).**

Source : Estimé à partir de données (CRU, 2011)

Afin de justifier et d'identifier le lien entre les coûts de l'énergie et la compétitivité de l'industrie sidérurgique, de simples diagrammes de dispersion avec une régression linéaire sont présentés dans les figures 88 et 89. Le premier graphique décrit le lien entre le ratio des flux bilatéraux d'acier entre deux pays et le ratio de la moyenne des coûts de l'énergie sur deux ans dans leur industrie sidérurgique. Il est restreint à la France entre 1997 et 2006 pour des raisons de lisibilité. On observe bien une relation négative impliquant une baisse des exportations par rapport aux importations si les coûts de l'énergie sont plus élevés en France que dans le pays partenaire. Le graphique suivant relie le ratio de production sur la consommation domestique d'acier avec la moyenne du ratio des coûts de l'énergie dans l'industrie sidérurgique du pays par rapport à la moyenne internationale de ces coûts sur deux ans. Tous les pays sont pris en compte. On observe alors que les pays avec des coûts de l'énergie élevés ont tendance à produire moins d'acier que leur consommation domestique et donc à avoir un solde net négatif. Le rôle de l'énergie apparaît donc clairement dans ces graphiques, le but du travail va donc consister à vérifier cette constatation avec des modèles plus développés contrôlant les éventuels biais statistiques.

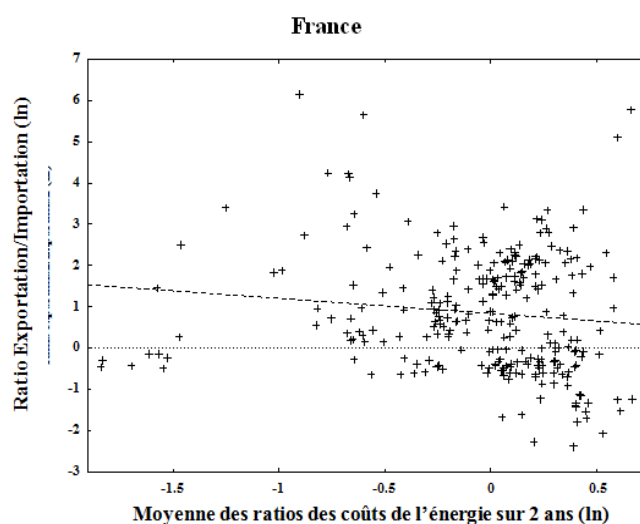


Figure 88 : Relation entre les coûts de l'énergie et le ratio exportation/importation d'acier pour la France entre 1997 et 2006

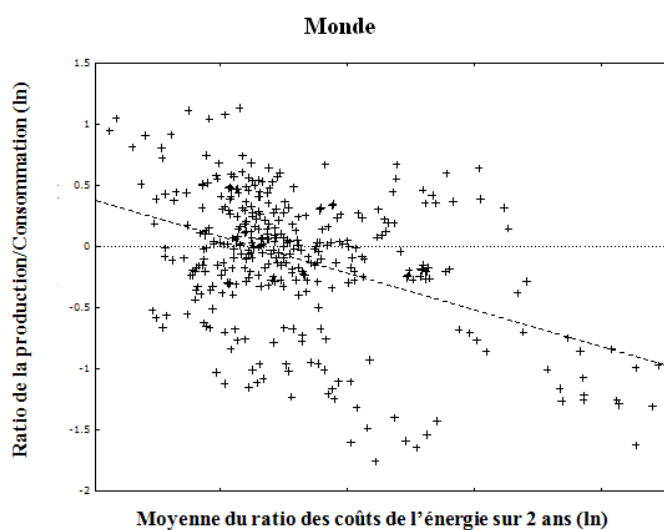
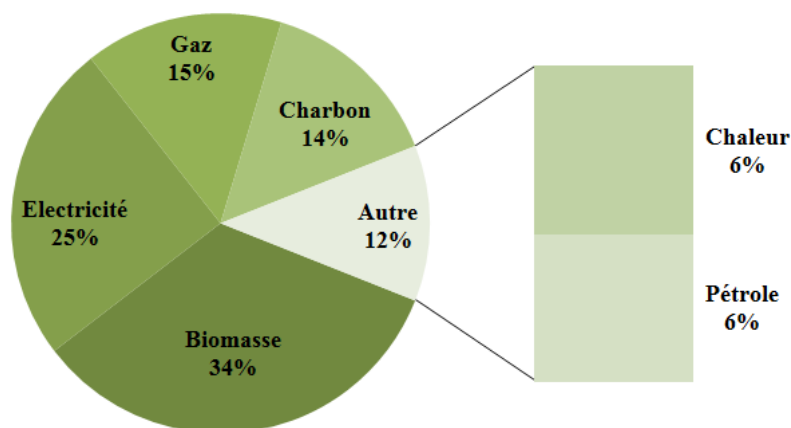


Figure 89 : Relation entre les coûts de l'énergie et le ratio production/consommation domestique d'acier dans le monde entre 1997 et 2006

### 2.1.4.2) L'ENERGIE DANS L'INDUSTRIE DU PAPIER

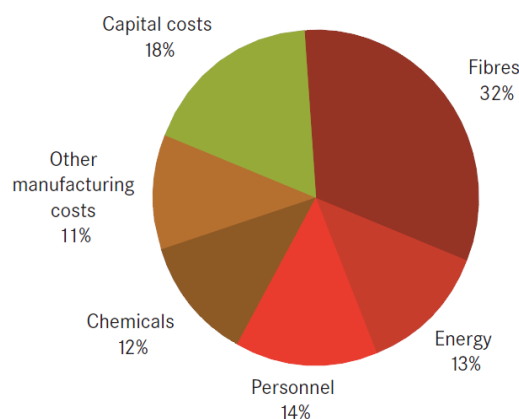
En 2009, l'industrie de la pâte à papier et du papier a consommé environ 153Mtep d'énergie dans le monde, dont 25 % d'électricité, 15 % de gaz naturel, 14 % de charbon, 6 % de produits pétrolier et le reste sous la forme de chaleur et de biomasse (Figure 90). La consommation d'énergie de l'industrie du papier représente donc environ un quart de celle de la sidérurgie. Cette énergie représente 6.3 % de la consommation totale de l'industrie manufacturière (Enerdata, 2010). L'industrie du papier est ainsi le quatrième plus grand secteur industriel consommateur d'énergie (IEA, 2007). Cependant, en 1995, l'industrie papetière représentait environ 8 % de la consommation industrielle. En effet, alors que la consommation de l'industrie manufacturière mondiale a augmenté de 25 % entre 1995 et 2009, la consommation de l'industrie du papier est restée stable durant cette période avec une légère baisse de -0.3 %. (Enerdata, 2010).



**Figure 90 : Répartition de la consommation d'énergie dans l'industrie mondiale du papier en 2009. Source : Estimé à partir de (Enerdata, 2010)**

Pour une usine moyenne en Europe, les coûts de l'énergie représentent environ 13 % des coûts totaux pour une tonne de papier produite en 2005 (Figure 91). La production de fibres compte pour environ 32 % du coût. Les autres postes de dépenses sont le coût des capitaux pour 18 %, le personnel pour 14 %, les produits chimiques pour 12 % (CEPI, 2005). En outre, les différences de coût de l'énergie entre pays sont significatives, à la fois pour l'électricité et pour les combustibles. Ces variations peuvent être expliquées par de multiples facteurs comme le type d'énergie consommé, les procédés utilisés, la taille et l'âge de l'usine, la qualité des entrants et l'attention du management sur l'efficacité énergétique (IEA, 2006). Ces différences d'implication dans les questions d'efficacité énergétique dépendent principalement des prix nationaux de l'énergie et des régulations en vigueur. Notamment, des prix élevés de l'énergie peuvent affecter certaines usines et les rendre non profitables (Browne, 2006).

**Average Weighted Cost Structure of Paper Industry  
for CEPI GmbH/S.A./Ltd./etc. (2005)**

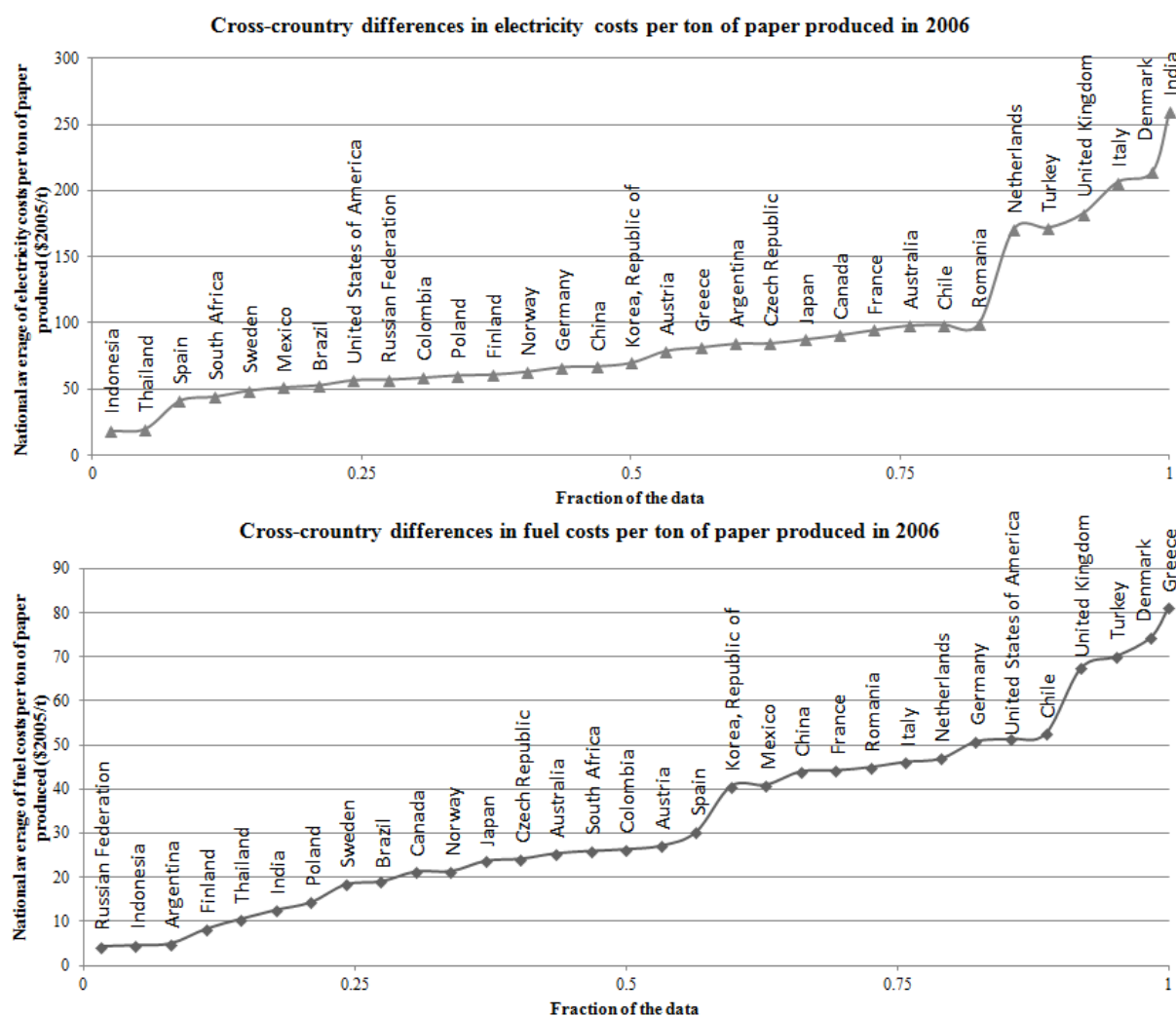


Source: Jaakko Pöyry Consulting

**Figure 91 : Moyenne des coûts de production pour l'industrie du papier en Europe en 2005.  
Source : (CEPI, 2005)**

Deux études de cas décrivent la façon dont des spécificités et des réglementations nationales sur la consommation d'énergie peuvent affecter les coûts de l'énergie dans l'industrie du papier. D'abord en Chine, l'efficacité énergétique de l'industrie du papier a longtemps été faible, en particulier à cause de la présence de très nombreuses petites et anciennes usines datant des années 1960 ou 1970. De plus, l'industrie papetière chinoise produit une grande quantité de pâte à papier à partir d'autres matières premières que le bois (ex. bambou), ce qui nécessitent l'utilisation de procédés très intensifs en énergie. En conséquence, le gouvernement chinois a décidé d'obliger la fermeture des plus petits sites et a encouragé le recyclage du vieux papier (IEA, 2007). Dans le second cas, au Canada, le gouvernement a lancé un projet de « benchmarking » de l'efficacité énergétique des usines de papier. Il apparaît alors que les usines les plus efficaces ne sont pas forcément les plus récentes et que le potentiel d'amélioration de l'efficacité énergétique est considérable du fait des écarts de consommation très importants entre sites de production (Francis et al., 2002).

La figure 92 met en évidence les coûts de l'énergie dans les pays sélectionnés pour l'étude en 2006. Pour la plupart des pays, les coûts de l'électricité s'élèvent à en moyenne 75 \$<sub>2005</sub> par tonne de papier produite. En Indonésie et en Thaïlande, les coûts de l'électricité ont été plus faibles grâce à des prix de l'électricité plus bas et à une part moins importante de l'électricité dans la consommation totale d'énergie par rapport aux autres pays. Inversement, les coûts de l'électricité ont été très élevés en Inde depuis 1995, à cause de prix élevés et d'une mauvaise efficacité énergétique des usines. Plus récemment, l'augmentation des prix de l'électricité au Royaume-Uni, au Danemark et en Italie a provoqué une augmentation conséquente des coûts de l'électricité sans que les producteurs aient eu le temps de réagir avec une potentielle amélioration des procédés. De manière similaire pour les combustibles, la Russie, l'Indonésie et l'Afrique du Sud ont profité respectivement de prix du gaz naturel, du pétrole et du charbon plus faibles pour leur industrie. Au contraire, les industries papetières de la Grèce et du Danemark ont été affectées par des prix des combustibles plus élevés et par une efficacité énergétique modérée.

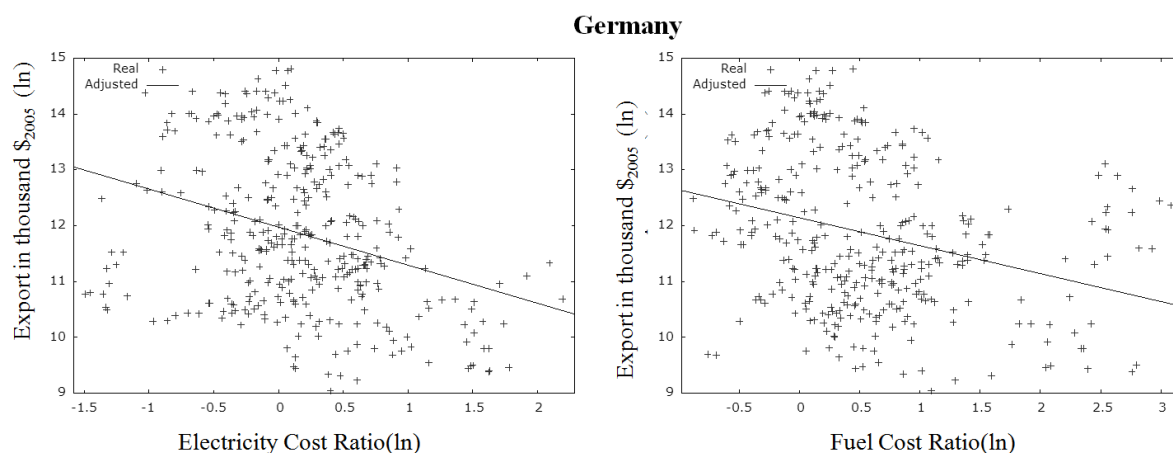


**Figure 92 : Différences entre pays des coûts de l'énergie pour la production de papier en 2006. Sources : Estimé à partir de données (Enerdata, 2010).**

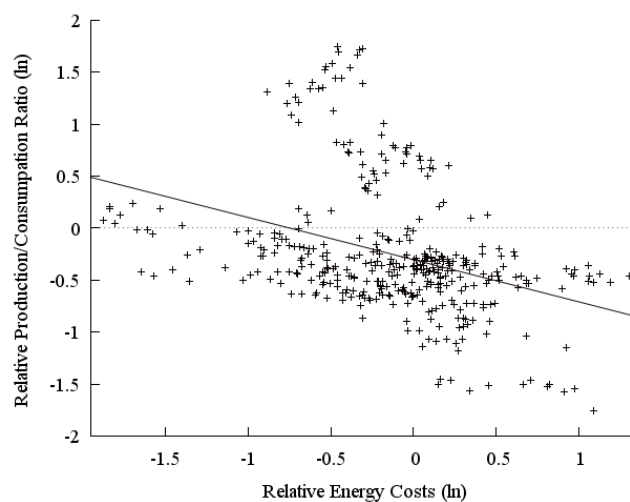
Les coûts de l'énergie sont de plus en plus importants pour la compétitivité des industries nationales du papier du fait de la hausse des prix de l'énergie et surtout de la possibilité des acteurs d'agir sur ces coûts, contrairement aux autres postes de dépenses (Jan Koopman, 2006; Jokinen, 2006). Ces prix ont un impact sur les coûts de production, et donc sur la localisation des investissements de l'industrie papetière à travers le monde (IEA, 2006). Les nouveaux enjeux liés à l'approvisionnement en énergie et aux changements climatiques vont probablement affecter plus fortement certains pays ou continents dans le futur. De plus, l'industrie du papier possède un potentiel important d'amélioration de l'efficacité énergétique des procédés et de réduction des émissions de CO<sub>2</sub>. Dès lors, les asymétries de coûts liées à l'énergie peuvent modifier la structure de l'industrie papetière avec des conséquences sur la demande en énergie, sur les émissions de CO<sub>2</sub> et sur les économies nationales.

Dans les faits, l'effet des coûts de l'énergie sur la compétitivité des industries nationales de papier peut être identifié de manière simplifiée dans les figures 93 et 94. Ces figures décrivent la corrélation des coûts de l'énergie avec les flux d'exportation de papier ou avec les niveaux de production nationaux. Les régressions ne sont pas très indicatives dans le sens où de nombreuses variables ont été omises mais permettent d'identifier le rôle potentiel de l'énergie sur la compétitivité de l'industrie du papier.

Les travaux vont donc consister à contrôler l'effet des autres facteurs de compétitivité afin d'obtenir une estimation, au possible, non biaisée des effets de l'énergie.



**Figure 93 : Relation entre les exportations allemandes de papier et les coûts de l'énergie par rapport au pays importateur entre 1995 et 2006**



**Figure 94 : Corrélation entre le ratio domestique production/consommation et les coûts de l'énergie dans le monde entre 1995 et 2006**

## **2.2) EFFETS DES COUTS DE L'ENERGIE SUR LES ECHANGES INTERNATIONAUX DE PRODUITS MANUFACTURES**

### **2.2.1) DANS LA LITTERATURE, DES MODELES DE GRAVITE QUI S'ORIENTENT VERS DES ETUDES SECTORIELLES**

Le modèle de gravité a été introduit au début des années 1960 dans le but d'expliquer les flux bilatéraux de produits manufacturés. Sa formulation dérive directement de la théorie de la gravitation de Newton : deux pays sont attirés l'un vers l'autre, en d'autres termes échantent plus de produits manufacturés, à proportion de leur taille économique et de l'inverse de la distance entre eux. Le modèle standard de gravité est désormais considéré comme un des principaux outils des études de commerce international. Ses fondements théoriques et empiriques ont été démontrés dans de nombreux travaux (Anderson, 197; Bergstrand, 1985; 1989). De nombreuses applications sont possibles à partir de ce modèle : explication du volume des échanges de produits manufacturés et de leur nature, étude des effets des unions douanières ou au contraire des barrières tarifaires ou analyse des flux d'investissements directs à l'étranger. Dans tous ces cas, le modèle gravitationnel permet le calcul des potentiels d'échanges bilatéraux, valeurs « normales » du commerce entre deux pays déterminées par leur condition macroéconomique (Fontagné et al., 2001).

Initialement, les modèles de gravité étaient appliqués afin d'étudier l'ensemble des échanges commerciaux, sans distinction des produits. Plus récemment, suite aux travaux de Bergstrand (1989) proposant une « équation généralisée », les modèles de gravité ont alors été étendus aux études sectorielles (Fontagné et al., 2001). Les modèles de gravité ont été de plus en plus utilisés pour étudier les échanges pour un type de produit comme la viande (Koo et al., 1994), les produits forestiers (Kangas & Niskanen, 2003) et plus spécifiquement la pâte à papier et le papier (Karikallio et al., 2011).

Kangas et Niskanen (2003) ont évalué les flux d'échanges pour les produits forestiers entre l'Union européenne et les pays d'Europe de l'Est, alors en phase d'accession à l'Union européenne, dans le but d'évaluer les effets potentiels de cet élargissement sur le commerce forestier. Dans cette étude, les flux bilatéraux à l'intérieur de ces deux zones, estimés économétriquement à partir des revenus des pays et de la distance les séparant, sont considérés comme les flux « normaux » de produits forestiers. En conséquence, toute déviation en-dessous de ces estimations reflète un potentiel commercial pour les pays concernés. Karikallio et al. (2011) ont examiné le degré de compétition dans l'industrie mondiale de pâte à papier et de papier, en utilisant, entre autres, un modèle de gravité pour calculer l'élasticité-prix de la demande en exportation. Leurs données couvrent quelques pays dans le monde entre 1997 et 2004, mais sont restreintes à un total de 40 observations. Le prix des exportations complète le modèle de gravité afin d'estimer son effet sur la demande. Le modèle de gravité est ainsi utilisé dans le but de contrôler les facteurs déterminants des échanges autres que le prix et pour éviter de possibles biais liés aux variables omises.

Notre étude sur les flux bilatéraux dans les industries du papier et de l'acier utilise également ce cadre méthodologique pour l'application du modèle de gravité. L'objectif est principalement d'identifier les effets des coûts de l'énergie sur les exportations de ces deux industries. Le modèle de gravité fournit alors une méthode de contrôle des autres facteurs déterminants les échanges. Dans ce sens, les travaux sont basés sur le cadre théorique de commerce international développé par Eaton et Kortum (2002),



(Encart 2). Ces deux auteurs ont développé un modèle de Ricardo amélioré qui permet d'identifier la productivité et les coûts nationaux de production en utilisant des équations structurelles sur les échanges bilatéraux. Une interprétation structurelle est ainsi donnée au modèle de gravité, dans laquelle les parts de marché sont déterminées par des effets fixes pour l'importateur et l'exportateur ainsi que par des barrières géographiques. Ce modèle s'applique à toute l'économie ou à seulement un secteur, les industries du papier et de l'acier dans notre cas. Ces effets fixes contrôlent la productivité nationale et la structure des coûts. En conséquence, dans un modèle de gravité standard où sont ajoutés des variables décrivant les coûts de l'énergie, l'effet de ceux-ci sur la production sont extraits des informations sur les flux bilatéraux. En contrôlant les déterminants typiques du commerce, un haut niveau d'exportation dans un pays révèle soit des coûts de production plus faibles, soit une meilleure productivité ou des barrières douanières avantageuses. Dès lors, le niveau des exportations peut être expliqué par de plus faibles coûts de l'énergie en plus des spécificités nationales représentées par le niveau de revenu des pays et par les effets fixes (Levchenko & Zhang, 2011). L'utilisation des modèles de gravité pour analyser l'effet de la variation du coût d'un entrant est alors justifiée théoriquement si l'on se limite aux hypothèses du modèle d'Eaton et Kortum.

**Le modèle d'Eaton et Kortum (2002)**

Le modèle d'échange d'Eaton et Kortum (2002) est basé sur la théorie des échanges de Ricardo<sup>44</sup> en y ajoutant des caractéristiques géographiques réalistes pour former un modèle d'équilibre général. Ce modèle permet d'obtenir des équations structurelles pour les flux bilatéraux dont les paramètres dépendent des avantages absolus, des avantages comparatifs et des barrières géographiques.

Différentes hypothèses sont utilisées pour formaliser le modèle, (Eaton & Kortum, 2002) :

- (i) Les pays peuvent produire les mêmes biens.
- (ii) Il existe un espace continu de biens différenciés.
- (iii) Les pays ont des technologies de production variant selon les produits et les pays.
- (iv) Le coût des entrants est le même pour tous les secteurs d'un pays.
- (v) Le coût des transports est représenté en utilisant l'hypothèse « Iceberg »<sup>45</sup>.
- (vi) On se place dans une situation de concurrence parfaite.
- (vii) Les consommateurs achètent les produits afin de maximiser leur utilité selon une fonction de substitution à élasticité constante<sup>46</sup> (CES).
- (viii) Les technologies de production dans un pays pour un type de produits dépendent d'une répartition probabiliste selon une distribution de Frechet.

Les coûts de production d'une industrie dans un pays dépendent de la productivité de la technologie de production dans un pays et du coût des entrants. Pour un pays importateur, les coûts de transport s'ajoutent pour former les prix des produits importés. La consommation de ces produits dépend alors de la maximisation de la fonction d'utilité des consommateurs. La forme de la distribution des technologies dépend de deux paramètres, l'un décrivant les avantages absolus de production (efficacité de production pour un produit commune à tous les pays) et l'autre les avantages comparatifs des pays (efficacité de production variant selon les pays pour un produit). Il en résulte qu'un pays avec une efficacité technologique plus grande, avec des coûts des entrants plus faibles, ou des barrières à l'échange plus faibles, exporte plus de produits. Les parts de marchés dépendent alors de ces trois facteurs. Une équation structurelle des échanges commerciaux, sous la forme des modèles de gravité, peut alors être obtenue. Le modèle relie les flux bilatéraux avec les différences de prix entre les pays (Eaton & Kortum, 2002)

Ce modèle peut alors être appliqué pour étudier différentes questions telles que les gains liés aux échanges commerciaux, l'impact d'une augmentation de la productivité dans certains pays et l'effet de la réduction des barrières tarifaires. En outre, la définition des équations structurelles des échanges permet de définir un cadre théorique précis pour l'étude de l'effet de la variation des coûts des entrants (dont l'énergie), de la productivité et de la liberté des échanges sur les exportations (Levchenko & Zhang, 2011). Notamment, Eaton et Kortum (2002) démontrent que tous les pays bénéficient de l'ouverture des marchés aux échanges internationaux, d'abord principalement pour les grands pays, puis ensuite pour les petits pays au fur et à mesure que l'on s'approche d'une situation où les coûts de transport sont nuls. Une avance technologique dans un pays profite à tous les autres pays, mais la magnitude de cette amélioration dépend de la proximité géographique avec ce pays et de la flexibilité de la production (coûts de restructuration). Enfin, tous les pays profiteraient d'une baisse multilatérale des tarifs douaniers, mais une baisse unilatérale serait au désavantage des grands pays comme les Etats-Unis.

**Encart 2 : Le modèle d'Eaton et Kortum**

<sup>44</sup> Dans le modèle de Ricardo, les avantages comparatifs proviennent de différences relatives de productivité dans les technologies de production, on parle d'avantages comparatifs technologiques.

<sup>45</sup> Pour délivrer un produit d'un pays  $i$  à un pays  $n$ , il est nécessaire de produire  $d_{ni}$  unités de ce produit dans le pays  $i$  avec  $d_{ii}=1$  pour tout  $i$  et  $d_{ni}>1$  pour  $n \neq i$  (Eaton & Kortum, 2002).

<sup>46</sup> Cette fonction définit l'utilité des consommateurs comme un agrégat des produits consommés qui se substituent en fonction des changements des prix relatifs des produits selon une élasticité constante.

## 2.2.2) CONSTRUCTION DES MODELES DE GRAVITE DES ECHANGES INTERNATIONAUX POUR LES INDUSTRIES DU PAPIER ET DE L'ACIER.

### 2.2.2.1) PRISE EN COMPTE DES COUTS DE L'ENERGIE DANS LES INDUSTRIES DU PAPIER ET DE LA SIDERURGIE

L'intégration des variables sur l'énergie dans les études économétriques soulève trois problèmes principaux : le lien entre prix de l'énergie et efficacité énergétique, la substitution des énergies et les différences de procédés.

D'abord, des prix de l'énergie plus élevés impliquent normalement l'introduction de procédés énergétiques plus efficaces. Ainsi, des prix plus élevés de l'énergie ne reflètent pas exactement le coût auquel font face les industriels. Comme ces deux variables, prix et efficacité énergétique, sont liées, il est difficile d'analyser séparément leur influence respective avec des méthodes statistiques non spécifiquement dédiées à cette question. De plus, le potentiel de réaction des industriels face une hausse des prix de l'énergie dépend du niveau technologique absolu du pays : l'élasticité de la consommation d'énergie par rapport aux prix varie selon les pays. De même, l'élasticité est asymétrique, elle est différente selon si c'est une hausse ou une baisse des prix (Lescaroux, 2008; Miketa, 2001). Des industriels pourraient ne pas réagir de la même manière suite à des hausses des prix de l'énergie pour des raisons techniques. Un pays avec des équipements anciens peut facilement investir dans de nouvelles machines auprès de fournisseurs internationaux. Au contraire, des pays se situant à la frontière technologique devront innover dans de nouveaux procédés, ce qui exige un investissement bien plus important. Ces interactions entre prix de l'énergie et évolution des procédés sont bien mieux prises en compte dans les modèles technologiques de type « bottom-up »<sup>47</sup>, s'appuyant sur la cohérence technique d'un système énergétique (Djemaa, 2009).

Pour contourner ce problème, les coûts de l'énergie par tonne de production sont utilisés plutôt que directement les prix. Cette solution permet de contrôler le lien entre les prix de l'énergie et l'efficacité énergétique en intégrant une variable de coût qui combine ces deux effets. La concurrence entre industriels se situe dans les coûts de production plutôt que dans le prix des entrants. Il n'est toutefois plus possible de distinguer l'analyse des effets d'une hausse des prix de l'énergie de ceux liés à un changement d'efficacité énergétique.

Le second type de problème réside dans la substitution possible entre les énergies utilisées dans les industries du papier et de la sidérurgie. On pourrait, dans un premier temps, utiliser le prix de chaque type d'énergie : gaz naturel, produits pétrolier, charbon et électricité. Cependant, l'utilisation de ces variables ne permet pas d'estimer clairement l'impact des prix de l'énergie dans tous les pays. Par exemple, l'industrie papetière chinoise n'utilise pas de gaz naturel, du fait d'un manque d'accès facile à cette ressource. Cette industrie n'est donc pas affectée par les variations de prix du gaz par rapport à d'autres pays, ce que l'étude économétrique ne peut détecter. L'industrie d'un pays n'est affectée que par les prix des énergies que cette industrie consomme dans le court terme. Dans le long terme, les procédés industriels peuvent être modifiés pour utiliser de nouvelles énergies. Ce type de mécanisme

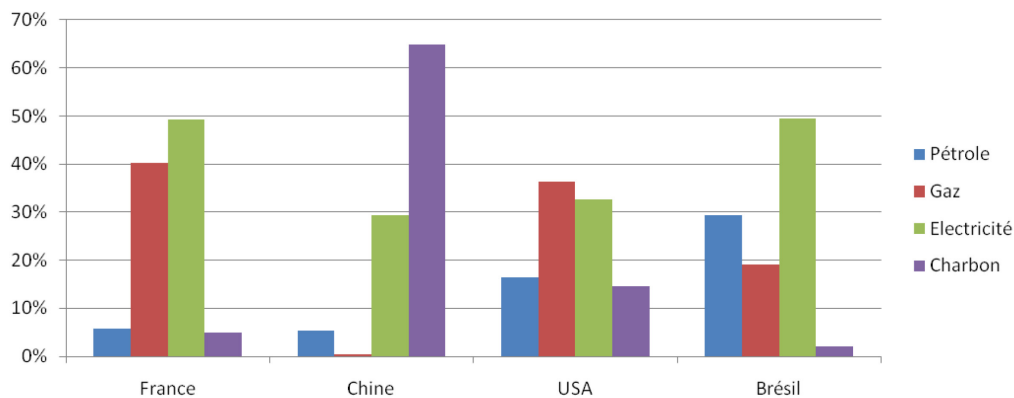
---

<sup>47</sup> Parmi ce type de modèles, nous pouvons citer entre autres : le modèle PULPSIM sur l'industrie du papier (Szabó et al., 2009) et les modèles TIMES développé à EDF R&D sur les IGCE et sur l'industrie diffuse (Djemaa, 2009), (Seck, 2012).

implique des comportements difficilement intégrables dans une étude statistique. Une approche regroupant les coûts pour les différents types d'énergie est donc préférée.

Dans l'industrie du papier, nous ne tenons pas compte de la biomasse dans les estimations statistiques. Il est en effet très difficile d'obtenir des données fiables sur la consommation de biomasse et sur les prix dans l'industrie. Ensuite, en analysant les consommations d'énergie de cette industrie dans différents pays (Figure 95), on note que les types de combustibles utilisés sont très différents alors que la part de l'électricité est à peu près constante. En effet, les combustibles permettent de répondre à un besoin en chaleur pour le séchage du papier, alors que l'électricité est utilisée de manière homogène pour le fonctionnement de la machine à papier (Molin et al., 2010). Les combustibles sont difficilement substituables avec l'électricité quelque soit le procédé, mais parmi les combustibles, le choix du type d'énergie est peu contraint. Il a donc été décidé de regrouper les différents combustibles ensemble (gaz, produits pétroliers, charbon) dans l'étude sur l'industrie du papier et de distinguer l'électricité. On calcule alors les coûts par tonne produite pour l'ensemble des combustibles d'une part et les coûts pour l'électricité d'autre part. Les consommations pour chaque type de combustible sont multipliées par leur prix annuel moyen pour l'industrie dans le pays concerné. Puis, ce produit est divisé par la production en volume de papier du pays dans l'année considérée. La formule est la suivante, l'indice  $i$  représente un type de combustible :

$$\text{Cout Combustible} = \frac{\sum_i \text{Prix}_i * \text{Consommation}_i}{\text{Production de papier}} \quad (4)$$



**Figure 95 : Consommation énergétique dans la production de papier dans différents pays.**  
Source : (Enerdata, 2010)

Dans l'industrie sidérurgique, les hauts-fourneaux consomment principalement du charbon métallurgique et les fours à arc électrique de l'électricité. Un peu de gaz est utilisé de façon marginale dans les procédés DRP (Direct Reduction Process), (Djemaa, 2009). Selon les procédés utilisés dans un pays, le mix énergétique peut fortement varier en faveur de l'électricité ou du charbon. Or, le choix de ces procédés dépend en partie du prix des énergies. On ne peut donc pas utiliser la même distinction que dans l'industrie du papier, entre combustibles et électricité. Un coût moyen de l'énergie par tonne d'acier brut produit est donc calculé en regroupant toutes les énergies, avec l'électricité, de manière similaire à la formule 4.

De plus, les contrats d'approvisionnement en charbon métallurgique des sidérurgistes étaient de longues durées, sur un ou deux ans, durant la période 1995-2006, (Binns, 2012). Cela a changé depuis deux ou trois ans avec l'augmentation de la concentration des fournisseurs de charbon métallurgique et donc de leur pouvoir de négociation (Figure 96). Le constat est le même pour l'électricité, notamment en Europe avant la libéralisation des marchés électriques. Il est alors plus pertinent d'étudier l'impact de la moyenne des coûts de l'énergie sur deux ans dans la sidérurgie.

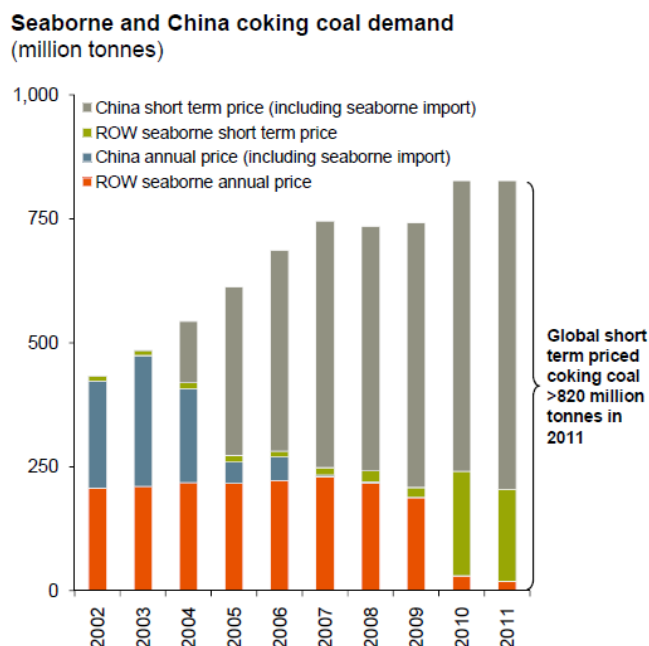


Figure 96 : Evolution des contrats à court et long termes pour l'achat de charbon métallurgique dans la sidérurgie. Source : (Binns, 2012)

#### 2.2.2.2) SPECIFICATION DU MODELE DE GRAVITE

La formulation standard du modèle de gravité est utilisée pour l'étude économétrique. Ainsi, dans l'équation suivante,  $F_{i,j}$  représente les flux commerciaux entre les pays  $i$  et  $j$ ,  $Y_i$  et  $Y_j$  la taille économique des pays approximée par leur PIB,  $d_{i,j}$  la distance entre ces pays et  $A$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  ainsi que  $\gamma$  les paramètres à estimer :

$$F_{i,j} = A * \frac{Y_i^\alpha * Y_j^\beta}{d_{i,j}^\gamma} \quad (5)$$

Pour l'industrie du papier, la période d'étude s'étend de 1995 à 2006. 32 pays sont inclus. L'étude est limitée aux produits papetiers (p. 134 §3). Les échanges de pâte à papier ne sont pas pris en compte. Pour la sidérurgie, la période d'étude s'étend de 1998 à 2006. 31 pays sont inclus. Tous les échanges d'aciers finis sont considérés (le périmètre précis des produits pris en compte est décrit page 134).

Les variables traditionnelles des modèles de gravité sont utilisées, telles que la richesse d'un pays reflétée par son PIB et la distance entre eux<sup>48</sup>. Le PIB reflète la capacité de production pour le pays exportateur et la demande en papier ou en acier pour le pays importateur. Des niveaux de PIB élevés pour les deux pays augmentent normalement le niveau des échanges entre eux. La distance entre les pays et des constantes spécifiques à chaque paire de pays décrivent de manière approximée les barrières géographiques à l'échange. La variable de distance est construite en pondérant la population des principales villes de chaque pays pour trouver le centre géographique et en estimant une distance directe<sup>49</sup> entre les centres de deux pays partenaires (Head et al., 2010). Ainsi, la distance kilométrique approxime les coûts de transport entre deux pays. Une grande distance réduit donc les flux d'échanges entre deux pays. Une frontière, une langue et une zone d'échange communes sont des constantes spécifiques à chaque paire de pays facilitant le commerce. Chacune de ces constantes augmente normalement le commerce dans les pays concernés.

Ensuite, le modèle standard de gravité est augmenté avec des variables représentant les coûts de l'énergie. Puisque l'effet sur la compétitivité des coûts de l'énergie dépend directement des asymétries de coûts entre deux pays, la variable sur l'énergie est introduite sous la forme d'un ratio des coûts d'énergie pour le pays exportateur sur ceux du pays importateur. Enfin, des effets fixes sont inclus afin de modéliser l'effet des variables omises spécifiques à chaque pays et à chaque partenariat commercial. L'utilisation d'effets fixes pour chaque paire de pays permet de corriger en partie le problème de l'hétérogénéité en dotation factorielle (revenu par habitant trop éloignés) des pays de l'échantillon<sup>50</sup> (Fontagné et al., 2001). Pour résumer, le modèle calcule les flux bilatéraux potentiels entre deux pays selon des variables macroéconomiques et géographiques. Puis, le modèle estime les déviations induites par des coûts de l'énergie différents selon les pays et les années.

Les tableaux 10 et 11 synthétisent les données utilisées pour les deux industries avec leurs statistiques principales ainsi que leur source. Pour rappel, la période d'étude est plus courte dans la sidérurgie. La valeur moyenne des flux bilatéraux est deux fois plus élevée dans la sidérurgie que dans l'industrie du papier (cependant la période d'étude est plus tardive ce qui augmente légèrement cette moyenne). La taille économique moyenne est d'environ 1100 milliards de \$<sub>2005</sub> soit à peu près le PIB de la Corée du Sud ou du Mexique. La distance moyenne est de 7300 km ce qui représente environ la distance entre Washington et Tunis. Le coût de l'énergie par tonne d'acier ou de papier est quasiment équivalent, avec de grandes variations dans l'échantillon pour les deux industries. Les ratios distincts des coûts de l'électricité et des combustibles peuvent être très faibles (et inversement) entre les deux pays à

<sup>48</sup> Le PIB par habitant est souvent ajouté dans les études sur les modèles de gravités. Pour autant, son interprétation diffère selon si le modèle de gravité simule tous les échanges de produits manufacturés ou les échanges pour un secteur en particulier. Dans le second cas, approprié à l'étude présente, le coefficient du PIB par habitant du pays exportateur décrit si l'industrie est capitaliste, si le facteur capital est prépondérant par rapport au travail. Inversement, un signe négatif du PIB par habitant reflète une industrie intensive en travail. Pour le pays importateur, un signe positif du PIB par habitant décrit un commerce de produit de confort (« luxury products ») au contraire de produits de nécessité (« necessity products »). Ainsi, le signe des coefficients estimés pour le PIB par habitant ne doit pas forcément être positif (Bergstrand, 1989), (Kangas & Niskanen, 2003). Cette information n'est pas forcément pertinente dans le sujet de l'étude qui se concentre sur l'énergie. Elle est, dans tous les cas, incluse dans les effets fixes introduits dans le modèle. Le PIB par habitant ne sera donc pas ajouté dans les modèles de gravité analysés.

<sup>49</sup> Cette méthode ne tient pas compte des contraintes géographiques au transport. Par exemple, le calcul de la distance entre le Canada et la Russie se basera sur une ligne directe traversant l'Arctique, ce qui n'est bien sûr pas le cas des cargos de marchandise.

<sup>50</sup> Car cela remet en cause les hypothèses de justification théorique du modèle de gravité.

l'extrême de l'échelle des coûts. Cette écart est moins élevé mais reste très significatif dans l'acier, du fait notamment de l'utilisation d'une moyenne entre l'électricité et les combustibles. L'échantillon totalise donc 11456 observations pour l'industrie du papier et 9248 pour l'industrie sidérurgique. La présence d'une tendance statistique commune sur un nombre élevé d'observations renforce la robustesse de l'estimation.

Variable		Unité	Source	Moyenne	Ecart type	Min.	Max.
Flux d'exportation de papier	$F$	En valeur, 1000\$ (2005\$)	BACI (Gaulier and Zignago, 2010)	72 789	372 703	0	10 861 942
PIB	$Y$	1,000,000\$ (2005\$)	Enerdata	1 094 940	1 997 576	73 410	12 731 653
Distance	$d$	Distance entre les centres pondérés de la population des grandes villes (km)	CEPII (Head et al., 2010)	7 331	4 841	80	19 370
Langue commune	$DI$	Uniquement première langue officielle (sans unité)	CEPII	0.05	0.23	0.00	1.00
Frontière commune	$Db$	Sans unité	CEPII	0.04	0.19	0.00	1.00
Accord d'échange régional commun	$Dr$	European Union, NAFTA, ASEAN, Mercosur		/	/	/	/
Coût de l'électricité par tonne de papier	$El$	\$/t (2005\$)	Enerdata	87	57	13	418
Coût des combustibles par tonne de papier	$Co$	\$/t (2005\$)	Enerdata	27	17	2	81
Ratio des coûts de l'électricité dans le papier	$\left(\frac{El_i}{El_j}\right)$	Sans unité	/	1.44	1.59	0.03	29.24
Ratio des coûts des combustibles dans le papier	$\left(\frac{Co_i}{Co_j}\right)$	Sans unité	/	1.89	3.11	0.02	40.01

**Tableau 10 : Statistiques descriptives pour le modèle de gravité du papier (sources des données, moyenne, écart-type, minimum et maximum). Le nombre total d'observations pour chaque flux bilatéral est de T = 12. Cela donne un total de 11456 observations.**

Variable		Unité	Source	Moyenne	Ecart type	Min.	Max.
Flux d'exportation d'acier brut	$F$	En valeur, 1000\$ (2005\$)	BACI (Gaulier and Zignago, 2010)	141 869	434 811	0	7 152 189
PIB	$Y$	1,000,000\$ (2005\$)	Enerdata	1 128 712	2 054 942	73 410	12 731 653
Distance	$d$	Distance entre les centres pondérés de la population des grandes villes (km)	CEPII (Head et al., 2010)	7 467	4 770	161	19370
Langue commune	$DI$	Uniquement première langue officielle (sans unité)	CEPII	0.06	0.25	0.00	1.00
Frontière commune	$Db$	Sans unité	CEPII	0.05	0.23	0.00	1.00
Accord d'échange régional commun	$Dr$	Union européenne, NAFTA, ASEAN, Mercosur		/	/	/	/
Coût de l'énergie par tonne d'acier	$E$	\$/t (2005\$)	Enerdata	111	84.4	43	511
Ratio des coûts de l'électricité dans l'acier	$\left(\frac{E_i}{E_j}\right)$	Sans unité	/	1.28	1.13	0.10	9.9
Part des fours EAF		En pourcentage	Worldsteel Association (2011)	44 %	29 %	2 %	100 %

**Tableau 11 : Statistiques descriptives pour le modèle de gravité de l'acier (sources des données, moyenne, écart-type, minimum et maximum). Le nombre total d'observations pour chaque flux bilatéral est de T = 9 (sauf pour le Danemark où T=6). Cela donne un total de 8505 observations.**



### 2.2.2.3) METHODES D'ESTIMATION DES MODELES DE GRAVITE

Dans le but de trouver les meilleures méthodes d'estimation économétrique, différentes formes du modèle de gravité ont été testées. Les méthodes usuelles pour les données de panel sont introduites : forme contrainte (moindres carrés ordinaires, MCO), effets fixes (EF) et aléatoires (EA) pour toutes les flux bilatéraux (Encart 3). Ces méthodes diffèrent par leur utilisation des effets individuels. Pour tous les modèles, des constantes fixes par années sont ajoutées dans le but de corriger des effets de la conjoncture économique. De plus, des méthodes d'estimation robustes sont utilisées pour corriger des problèmes d'hétéroscédasticité. Pour les modèles sur les industries du papier et de l'acier, les résultats du F-test pour les effets fixes et du test de Breusch et Pagan pour les effets aléatoires démontrent que la forme contrainte (MCO) n'est pas adaptée (Breusch & Pagan, 1979). Le test de Hausman a été utilisé pour choisir le modèle le plus efficient entre les effets fixes et aléatoires (Hausman, 1978). Les effets aléatoires sont rejetés par ce test en faveur des effets individuels fixes pour chaque paire de pays.

En outre, une méthode économétrique plus développée et mieux adaptée aux modèles de gravité est introduite. Cette méthode est recommandée pour les études de gravité des échanges commerciaux par Fratianni et al. (2010). Ces auteurs suggèrent, d'après les meilleures pratiques issues des derniers développements théoriques et empiriques, d'utiliser une combinaison des méthodes d'effets fixes et aléatoires<sup>51</sup>. Cette méthode utilise des effets fixes pour chacun des pays et pour toutes les années et des effets aléatoires pour tous les flux bilatéraux entre pays partenaires. Cela permet d'obtenir des informations sur les variables constantes dans le temps (ex. distance) et de réduire le nombre de constantes à estimer dans un modèle avec des effets fixes par flux bilatéral. Fratianni et al. considèrent que cette spécification est la plus adaptée pour les modèles de gravité sans un nombre important de valeurs nulles. Cette méthode est nommée EA/EF dans les travaux suivants.

Pour tous les modèles, une forme log-linéaire de l'équation de gravité est utilisée. Ainsi, la spécification suivante est utilisée pour l'industrie du papier, dans laquelle  $Y_i$  et  $Y_j$  représentent le PIB du pays exportateur ( $i$ ) et du pays importateur ( $j$ ),  $El_i$  et  $El_j$  sont les coûts de l'électricité par tonne de papier produite,  $Co_i$  et  $Co_j$  sont les coûts des combustibles par tonne de papier et  $Dl_{ij}$ ,  $Db_{ij}$  and  $Dr_{ij}$  sont les constantes décrivant respectivement une langue officielle, une frontière ou un accord de libre échange commun :

$$\ln F_{i,j,t}^{Papier} = A_{i,j,t} + \alpha_1 * \ln Y_{i,t} + \alpha_2 * \ln Y_{j,t} + \alpha_3 * \ln d_{i,j,t} + \alpha_4 * \ln \left( \frac{El_{i,t}}{El_{j,t}} \right) + \alpha_5 * \ln \left( \frac{Co_{i,t}}{Co_{j,t}} \right) + \alpha_6 * Dl_{i,j,t} + \alpha_7 * Db_{i,j,t} + \alpha_8 * Dr_{i,j,t} + \varepsilon_{i,j,t} \quad (6)$$

<sup>51</sup> Une seconde méthode est suggérée par Fratianni et al. C'est la méthode « Poisson pseudo-maximum likelihood (PPML) développée par Santos Silva et Tenreyro (Santos Silva & Tenreyro, 2011). Cette méthode est mieux adaptée en présence de nombreuses valeurs nulles dans les échanges bilatéraux. Comme le modèle de gravité se présente sous une forme log-linéaire, les valeurs nulles ne sont pas définies et ne sont donc pas prises en compte. Si ces observations sont retirées, d'importantes informations sur les échanges peuvent être perdues sur pourquoi certains pays ne commercent pas entre eux. La méthode PPML est une méthode non-linéaire qui peut prendre en compte ces valeurs nulles dans les modèles de gravité. Cependant, elle n'est utilisée que dans les cas où les valeurs nulles sont très nombreuses dans l'échantillon de l'étude. Dans nos données, seules 448 observations sur 11904 sont nulles dans le papier et 424 sur 9504 dans l'acier. En effet, seuls 31 ou 32 grands pays industrialisés sont intégrés dans l'étude et non pas tous les pays comme dans certaines analyses en modèle de gravité. En conséquence, on considère que les valeurs nulles n'ont pas d'effet significatif sur les estimations.

Pour la sidérurgie, la spécification est très proche si ce n'est que seuls les coûts de l'énergie,  $E_i$  et  $E_j$ , regroupant électricité et combustibles, sont utilisés. De plus, comme ces consommations d'énergie dépendent alors en grande partie de la répartition des usines entre fours électriques et hauts-fourneaux, une variable décrivant cette répartition dans les pays est ajoutée,  $EAF_i$  et  $EAF_j$  :

$$\ln F_{i,j,t}^{Acier} = A_{i,j,t} + \alpha_1 * \ln Y_{i,t} + \alpha_2 * \ln Y_{j,t} + \alpha_3 * \ln d_{i,j,t} + \alpha_4 * \ln \left( \frac{E_{i,t}}{E_{j,t}} \right) + \alpha_5 * \ln \left( \frac{EAF_{i,t}}{EAF_{j,t}} \right) + \alpha_6 * Dl_{i,j,t} + \alpha_7 * Db_{i,j,t} + \alpha_8 * Dr_{i,j,t} + \varepsilon_{i,j,t} \quad (7)$$

Cette spécification économétrique est légèrement différente selon les méthodes d'estimation. Pour les effets fixes et les effets aléatoires par paire de pays ;  $A_{i,j,t} = x_{ij} + u_t$  où  $x_{ij}$  représente les constantes par flux bilatéral. Celles-ci sont considérées soit comme fixes, modèle EF, soit comme aléatoires, modèle EA. Enfin,  $u_t$  indique les constantes propres à chaque année (« effets fixes temporels »). Dans le modèle EA/EF,  $A_{i,j,t} = x_i + x_j + \mu_{i,j} + u_t$  où  $x_i$  et  $x_j$  sont respectivement les constantes à effets fixes dans le temps pour les pays exportateurs et les pays importateurs,  $\mu_{i,j}$  est l'hétérogénéité aléatoire spécifique au flux entre les pays  $i$  et  $j$ , et  $u_t$  les constantes propres à chaque année. Enfin,  $\varepsilon_{i,j,t}$  est le terme pour les résidus d'erreur.

**Les méthodes des effets individuelles** (Bourbonnais, 2009; Greene, 2005; Gujarati, 2009)

Les données de panel sont constituées d'observations sur plusieurs individus et sur plusieurs périodes. On peut, par exemple, définir une équation économétrique simple avec une variable explicative  $x$  et une variable expliquée  $y$ . L'indice  $i$  représente les différents individus, ou pays, et l'indice  $t$  les différentes périodes ou années,  $\alpha$  le terme constant pour chaque pays,  $\beta$  le coefficient à estimer sur l'effet de la variable  $x$  et  $\varepsilon$  est le terme d'erreur.

$$y_{it} = \alpha_i + \beta_{it} * x_{it} + \varepsilon_{it} \quad (8)$$

Différents niveaux de contraintes peuvent s'appliquer dans la formulation de l'équation économétrique dans les données de panel :

- *Homogénéité totale* : On suppose alors que la constante  $\alpha$  et le coefficient  $\beta$  de l'équation sont identiques pour tous les individus, soit  $\alpha_i = \alpha$  et  $\beta_{it} = \beta$ ,  $\forall i, t$ . Toutes les observations sont alors regroupées dans un groupe commun et on peut utiliser la méthode des moindres carrés ordinaire (MCO).
- *Hétérogénéité totale* : Dans ce cas particulier, les constantes  $\alpha_i$ , ainsi que le coefficient  $\beta_{it}$  sont différents pour tous les individus, soit  $\alpha_i \neq \alpha_j$  et  $\beta_i \neq \beta_j$ ,  $\forall i, j, t$ . L'équation à estimer est alors différente pour tous les individus. Cela présente peu d'intérêt dans notre cas d'étude.
- *Hétérogénéité des termes constants et homogénéité du coefficient de la variable explicative* : C'est le modèle à effets individuels, le coefficient  $\beta$  est constant pour tous les individus au contraire des constantes individuelles  $\alpha_i$ , soit  $\alpha_i \neq \alpha_j$  et  $\beta_{it} = \beta$ ,  $\forall i, j, t$ . Dans cette situation, une seule équation doit être estimée mais un nombre équivalent de constantes  $\alpha$  au nombre d'individus doit être calculé.

Les effets individuels peuvent alors être estimés de deux manières différentes :

- *Modèles à effets fixes* : Dans ces modèles, la valeur à l'ordonnée varie pour chaque individu mais la pente de la droite de régression est la même pour tous les individus. L'utilisation de cette méthode permet de prendre en compte l'hétérogénéité des individus, c'est-à-dire que la constante individuelle englobe tous les effets observables et non-observables en une moyenne sur le temps de la variable explicative pour chaque pays. De ce fait, l'information contenue dans les variations entre individus des variables n'est plus prise en compte dans l'étude économétrique. Seules les variations temporelles de chaque individu permettent l'estimation économétrique. Par exemple, si on explique la production de l'industrie papetière par l'abondance de bois, la méthode à effets fixes n'étudie que l'effet d'une variation de cette abondance dans un pays au cours du temps et non entre pays. Le coefficient  $\beta$  alors estimé représente l'effet de l'augmentation de la variable abondance de bois quelque soit le niveau absolu du pays. Une augmentation de 5 % de l'abondance de bois en Finlande a donc un effet comparable à une augmentation de 5 % en Arabie Saoudite sur la production de papier. La différence entre les deux pays n'est pas prise en compte. Notamment, l'effet des variables variant uniquement entre individus et non dans le temps, ne peut pas être estimé.
- *Modèles à effets aléatoires* : Dans ce type de modèles, les constantes individuelles, les valeurs à l'ordonnée, sont des éléments aléatoires entre individus autour d'une moyenne commune selon une distribution normale. Elles sont constantes dans le temps. La somme de ces effets aléatoires est nulle. C'est un modèle à composante d'erreur qui décompose le terme d'erreur habituel  $\varepsilon$  en deux éléments : l'écart par rapport à la moyenne générale de la régression et l'écart à la moyenne temporelle de chaque individu. L'avantage de cette méthode est dans le gain de degrés de liberté. C'est une spécification intermédiaire entre le modèle sans effet individuel et le modèle à effets fixes. On ne peut cependant pas l'appliquer dans toutes les situations, un test de Hausman est nécessaire.

**Encart 3 : Les méthodes à effets individuels**

### 2.2.3) COMPARAISON DU ROLE DES COUTS DE L'ENERGIE DANS LES ECHANGES DE PRODUITS MANUFACTURES : RESSEMBLANCES ET DIVERGENCES ENTRE LES INDUSTRIES DU PAPIER ET DE L'ACIER

#### 2.2.3.1) DESCRIPTION DES RESULTATS ECONOMETRIQUES

Les résultats des différentes méthodes sont présentés dans les tableaux 12 (papier) et 13 (acier). Selon les tests économétriques réalisés et décrits ci-dessus, les résultats statistiques des méthodes EF (« effets fixes ») et EA/EF (« effets aléatoires et fixes ») sont plus robustes et préférables à ceux des méthodes MCO (« moindres carrés ordinaires ») et EA (« effets aléatoires »). Dans l'industrie du papier, les résultats des variables principales sont à peu près similaires selon les quatre méthodes pour une même spécification (sans les revenus par habitant). La robustesse des résultats économétriques est ainsi renforcée. Pour la sidérurgie, la méthode MCO se distingue des autres méthodes, l'ajout des effets individuels joue un rôle important. Dans les modèles EA/EF, les résultats sont significativement différents pour les deux industries, surtout pour l'effet du PIB.

Tous les modèles sont significatifs dans leur ensemble selon le test de Fisher. Les coefficients de détermination ( $R^2$ ) doivent être considérés avec précaution. Notamment, ils ne permettent pas de comparer directement différentes méthodes et spécifications. En effet, la présence d'effets individuels fixes augmente « artificiellement » ce coefficient de détermination car leur utilisation introduit une constante pour chaque pays équivalente à la moyenne de la variable étudiée pour ce pays. Les variations sont donc immédiatement mieux modélisées. Toutefois, de manière générale, le coefficient de détermination est satisfaisant entre 0.52 (modèle MCO), 0.8 (modèles EA/EF) et 0.9 (modèles EF). Les variations des flux d'échanges de papier et d'acier sont donc assez bien modélisées, le but principal étant de contrôler les déterminants usuels des échanges afin de se concentrer sur l'effet des coûts de l'énergie. D'après les indications obtenues par les tests économétriques réalisés (décrits p.184 §1) et les prescriptions de la littérature économique, les résultats des modèles EF et EA/EF sont plus robustes que ceux des modèles MCO et EA. Nous concentrons donc notre analyse sur ces modèles.

#### i. Résultats pour les variables traditionnelles des modèles de gravité

Parmi les variables traditionnellement utilisées dans les modèles de gravité, la taille économique du pays, exprimée par le PIB, joue un rôle majeur dans la répartition des flux commerciaux dans les deux industries. Cet effet est d'ailleurs plus important dans la sidérurgie que dans l'industrie du papier, surtout pour le PIB du pays importateur. La taille économique du pays exportateur, représentant sa capacité à produire des produits industriels, augmente fortement les exportations de papier et d'acier. Pour le papier, une hausse de 1 % du PIB d'un pays (en valeur constante) entraîne en moyenne une augmentation de 0.85 % des exportations (avec un intervalle de confiance à 75 %<sup>52</sup> compris entre 0.58 % et 1.12 %). Pour l'acier, avec une hausse similaire du PIB, les flux bilatéraux d'exportation augmentent de 1.26 % (IC. 75 = [0.98 % ; 1.56 %]).

La distance entre les pays, qui approxime les coûts de transport et d'échanges, a également un effet très important sur la répartition des flux commerciaux dans les deux secteurs de l'étude. L'effet estimé

<sup>52</sup> Par la suite, IC.75 remplace intervalle de confiance à 75 %.

est très élastique, une hausse de la distance diminue très fortement le niveau des échanges. Cet effet est significatif dans tous les modèles, même s'il est plus prononcé dans les modèles EA/EF<sup>53</sup>. Cela traduit des coûts de transport élevés pour le papier et l'acier, ce qui correspond bien à des produits pondéreux. Toutes variables égales par ailleurs, un pays dont le barycentre des populations serait deux fois plus éloigné que celui d'un autre, échange environ 74 % de produits papetiers en moins. La variation est de moins 66 % pour l'acier. Autrement dit, une augmentation de 1 % de la distance (en km) entre deux pays, réduit de 1.92 % (IC. 75 = [-2.0 % ; -1.85 %]) les exportations de papier entre eux. De même pour l'acier, une augmentation similaire entraîne une baisse de 1.57 % des exportations (IC. 75 = [-1.69 % ; -1.45 %]).

De plus, une langue officielle commune est un facteur important de commerce entre deux pays. Une langue commune facilite les échanges et résulte souvent d'un passé commun et donc de relations spécifiques (ex. colonial). Une telle langue commune augmente de 196 % (IC. 75 = [184 % ; 268 %]) les échanges de papier et de 45 % les échanges d'acier (IC. 75 = [21.2 % ; 74.7 %]). L'effet est donc bien plus prononcé pour les produits papetiers que pour l'acier. Cela peut s'expliquer par une plus grande standardisation au niveau internationale des différents produits de l'acier facilitant les échanges malgré des différences de langue. L'effet d'une frontière commune n'apparaît que dans la régression en MCO et celle avec effets aléatoires (EA) pour l'acier. Son effet semble positif même si les résultats statistiques ne permettent pas de se prononcer avec certitude.

L'appartenance à une zone de libre échange a des effets positifs importants quelque soit la zone dans les modèles MCO et EA. L'utilisation des effets individuels fixes par pays avec les effets aléatoires par flux bilatéral rend ces résultats ambigus pour le papier et moins significatifs dans la sidérurgie. Notamment, il peut sembler anormal que l'appartenance de deux pays à l'ASEAN réduise les flux de papier entre eux dans le modèle EA/EF alors que cela les augmente dans les modèles MCO et EA. Cette différence provient de l'ajout d'effets fixes par pays (exportateur et importateur). Deux pays de l'ASEAN sont inclus dans l'étude : la Thaïlande et l'Indonésie. Les constantes fixes du niveau d'exportation de ces deux pays sont positives et élevées. Ce sont donc deux pays qui exportent plus de papier que la moyenne mondiale dans les mêmes conditions économiques. Lorsque ces effets fixes par pays ne sont pas inclus (MCO, EA), seuls les échanges entre ces deux pays sont mis en avant par la variable ASEAN. Les échanges de ces pays vers le reste du monde ne sont pas soulignés par une constante, ils sont compris dans la moyenne mondiale. Or ces échanges sont supérieurs aux échanges mondiaux moyens, car ils sont liés à la Thaïlande et à l'Indonésie. Donc le coefficient de la variable ASEAN est positif dans les modèles MCO et EA. Mais les échanges bilatéraux de papier uniquement entre la Thaïlande et l'Indonésie sont plus faibles que ceux entre ces deux pays et le reste du monde. Le coefficient de la variable ASEAN est donc négatif avec des effets fixes par pays, car on compare ces flux à tous ceux de la Thaïlande et de l'Indonésie. L'écart est important dans ce cas, car seuls deux pays représentent l'ASEAN. Les effets fixes par pays intègrent donc en partie le fait que les pays appartiennent à une zone de libre-échange en étant de valeur plus élevée.

---

<sup>53</sup> Dans les modèles EF, l'effet des variables constantes ne peut pas être estimé. Les coefficients pour la distance, les facteurs communs ainsi que l'appartenance à une zone d'échange libre ne peuvent pas être estimés avec cette méthode.

---

## ii. Résultats pour l'énergie

---

L'étude en modèle de gravité démontre que les coûts de l'énergie jouent un rôle significatif dans les échanges internationaux de papier et d'acier. Des coûts plus élevés de l'énergie, pour le pays exportateur par rapport au pays importateur, réduisent la valeur des exportations. L'énergie affecte donc la compétitivité des industries du papier et de l'acier. Ce sont les écarts relatifs des coûts entre pays, toutes choses égales par ailleurs, qui déterminent les avantages compétitifs.

Dans l'industrie du papier, une hausse de 1 % du ratio des coûts de l'électricité, entre le pays exportateur et le pays importateur, implique une diminution des exportations du pays exportateur de 0.09 % (IC. 75 = [-0.14 % ; -0.05 %]). L'effet des combustibles est également significatif et négatif. Une hausse de 1 % du ratio des coûts des combustibles mènent en moyenne à une baisse de 0.14 % des exportations (IC75. = [-0.18 % ; -0.10 %]).

Dans la sidérurgie, il n'est pas possible méthodologiquement de distinguer les effets de l'électricité de ceux des combustibles (surtout charbon) sans introduire de biais dans l'estimation (p.180 §3). L'analyse porte donc sur le coût de l'ensemble des énergies par tonne d'acier produit. Pour rappel, une moyenne sur deux ans est utilisée car les contrats d'énergie étaient à long terme durant la période d'étude dans la sidérurgie (p.181 §1). Une hausse de 1 % du ratio de la moyenne sur deux ans des coûts de l'énergie implique une baisse d'environ 0.19 % des exportations (IC. 75 = [-0.28 % ; -0.10 %]).

On peut noter que le modèle MCO ne fournit pas de résultat significatif pour la variable sur l'énergie. De même, cette variable est peu significative (à 10 %) dans le modèle EA. Au contraire, dans ces modèles la variable sur la répartition de la production d'acier en fonction des procédés (fours électriques ou hauts-fourneaux) est fortement significative et négative. Si on enlève cette dernière variable, les coûts de l'énergie redeviennent significatifs avec des coefficients du même ordre de grandeur que dans les modèles EF et EA/EF. Par contre, son retrait modifie très peu les résultats dans ces deux derniers modèles. Une forte présence de fours électriques dans la production explique les différences de niveau des exportations entre les pays, mais pas ne présente pas d'effet significatif dans le temps. Cela provient probablement de la faible variabilité de cette variable dans chaque pays au cours des douze années de l'étude. Au contraire, les variations dans les coûts de l'énergie entre pays sont principalement liées aux procédés utilisés pour la production, il existe une corrélation entre les deux variables. Ainsi, la variable énergie est non-significative dans le modèle MCO. Néanmoins, pour une structure de la production fixée par les effets fixes par pays (modèles EF et EA/EF), l'évolution des coûts de l'énergie dans un pays est décorrélée de la répartition des fours électriques et présente un effet négatif sur la compétitivité des pays étudiés. Le modèle EA donne des résultats intermédiaires.

L'effet des coûts de l'énergie sur la compétitivité internationale des industries du papier et de la sidérurgie est donc démontré et quantifié. Cet effet est beaucoup moins important dans l'explication des flux internationaux de papier et d'acier que la taille économique des pays ou la distance entre eux. Néanmoins, le but de l'étude est justement de contrôler des principaux facteurs explicatifs des échanges internationaux et d'identifier sans biais le rôle de l'énergie.

Variable expliquée: Exportations bilatérales de papier	Moindres carrés ordinaires (MCO)	Effets fixes (EF)	Effets aléatoires (EA)	EA/EF
PIB de l'exportateur	1.129 *** (0.016)	0.861 *** (0.232)	1.194 *** (0.051)	0.851 *** (0.233)
PIB de l'importateur	0.758 *** (0.017)	1.459 *** (0.262)	0.889 *** (0.055)	1.464 *** (0.262)
PIB par hab. de l'exportateur	/	/	/	/
PIB par hab. de l'importateur	/	/	/	/
Distance	-1.411 *** (0.023)	/	-1.544 *** (0.057)	-1.923 *** (0.065)
Langue commune	1.185 *** (0.066)	/	1.301 *** (0.217)	1.086 *** (0.189)
Frontière commune	0.324 *** (0.081)	/	0.239 (0.275)	-0.010 (0.191)
Ratio des coûts de l'électricité (exportateur/importateur)	-0.132 *** (0.024)	-0.095 ** (0.039)	-0.129 *** (0.034)	-0.092 *** (0.039)
Ratio des coûts des combustibles (exportateur/importateur)	-0.210 *** (0.020)	-0.136 *** (0.035)	-0.137 *** (0.032)	-0.137 *** (0.035)
Union européenne	0.537 *** (0.058)	/	0.265 *** (0.058)	0.030 (0.059)
NAFTA	1.192 *** (0.100)	/	0.857 *** (0.301)	0.341 (0.344)
Mercosur	2.795 *** (0.178)	/	2.824 *** (0.532)	2.333 *** (0.317)
Asean	2.478 *** (0.142)	/	2.630 *** (0.168)	-1.074 *** (0.334)
Constante	-4.436 *** (0.332)	-21.99 *** (4.563)	-5.939 *** (1.071)	-5.206 (4.307)
Effets fixes par année	No	Yes	Yes	Yes
Effets fixes par pays	No	No	No	Fixe
Effets indiv. par paire de pays	No	Fixe	Aléatoire	Aléatoire
N	11456	11456	11456	11456
R-sq	0.518	0.916	0.515	0.790

Ecart-types entre parenthèses, \* p<0.10, \*\* p<0.05, \*\*\* p<0.01

**Tableau 12 : Résultats du modèle de gravité pour l'industrie du papier sur 32 pays entre 1995 et 2006. Le modèle EA/EF est une combinaison d'effets fixes pour les pays exportateurs et importateurs et d'effet aléatoires pour chaque flux bilatéral.**



Variable expliquée: Exportations bilatérales d'acier	Moindres carrés ordinaires (MCO)	Effets fixes (EF)	Effets aléatoires (EA)	EA/EF
PIB de l'exportateur	0.839*** (0.016)	1.286*** (0.252)	0.917*** (0.044)	1.272*** (0.253)
PIB de l'importateur	0.887*** (0.017)	3.494*** (0.334)	1.062*** (0.045)	3.347*** (0.334)
Distance	-1.154*** (0.021)	/	-1.21*** (0.05)	-1.53*** (0.063)
Langue commune	0.628*** (0.063)	/	0.650*** (0.182)	0.375** (0.160)
Frontière commune	0.431*** (0.067)	/	0.366** (0.187)	0.151 (0.162)
Moyenne du ratio des coûts de l'énergie sur 2 ans (exportateur/importateur)	-0.001 (0.034)	-0.184** (0.082)	-0.137** (0.064)	-0.185** (0.082)
Ratio du pourcentage de fours électriques dans la production (exportateur/importateur)	-0.267*** (0.017)	0.069 (0.094)	-0.147*** (0.046)	0.071 (0.093)
Union européenne	0.097** (0.043)	0.189*** (0.051)	0.077 (0.050)	0.148*** (0.057)
NAFTA	0.312*** (0.06)	/	0.040 (0.192)	0.343 (0.214)
Mercosur	1.50*** (0.139)	/	1.694*** (0.46)	0.495* (0.260)
Asean	1.33*** (0.154)	/	1.622*** (0.103)	0.500* (0.296)
Constante	-2.624*** (0.316)	-53.26*** (5.69)	-5.603*** (0.885)	-35.39*** (5.27)
Effets fixes par année	No	Yes	Yes	Yes
Effets fixes par pays	No	No	No	Fixed
Effets indiv. par paire de pays	No	Fixed	Random	Random
N	8505	8505	8505	8505
R-sq	0.557	0.907	0.552	0.741

Ecart-types entre parenthèses, \* p<0.10, \*\* p<0.05, \*\*\* p<0.01

**Tableau 13 : Résultats du modèle de gravité pour l'industrie sidérurgique sur 31 pays entre 1998 et 2006. Le modèle EA/EF est une combinaison d'effets fixes pour les pays exportateurs et importateurs et d'effet aléatoires pour chaque flux bilatéral.**

**2.2.3.2) APPLICATION : ESTIMATION DE L'IMPACT DES COUTS DE L'ENERGIE SUR LES EXPORTATIONS PASSES**

---

Les résultats obtenus permettent de quantifier l'effet de l'évolution des coûts de l'énergie sur les échanges internationaux de papier et d'acier. Il est possible de les utiliser afin d'estimer l'effet de ces coûts sur des situations historiques, afin de mieux saisir leur importance et les quantités économiques et énergétiques en jeu. L'analyse compare d'abord différents pays dans le monde et dans le temps. L'accent est ensuite posé sur la situation en France.

Dans cette section, l'estimation de l'effet des coûts de l'énergie sur les flux bilatéraux permet de mesurer la part des exportations liée à des différences dans ces coûts. Cependant, toute l'analyse se base sur une année de référence (1995 pour le papier et 1998 pour l'acier). Des effets individuels ont été utilisés dans l'estimation du modèle de gravité<sup>54</sup>, notamment des effets fixes pour chaque flux bilatéral. En conséquence, seules les variations pour un flux bilatéral dans le temps sont étudiées. Le rôle des coûts de l'énergie est donc estimé sur ces variations temporelles mais ne décrit pas les écarts existants entre chaque flux bilatéral. Ces écarts sont inclus dans les effets individuels. Dans cette analyse, c'est donc l'impact de l'évolution des coûts de l'énergie dans chaque pays par rapport à l'année de référence sur les exportations de ce pays qui est étudié. On considère que le niveau du flux d'exportation est fixé par les constantes, ou les autres variables, pour l'année de base. Par exemple, lorsque l'effet des coûts de l'énergie sur les exportations de papier de la France vers l'Allemagne est étudié, en 2000, c'est l'effet de la variation entre 1995 et 2000 du ratio des coûts entre ces deux pays qui est estimé. Le fait que la France exporte plus vers l'Allemagne car elle bénéficie d'un coût moyen plus faible qu'en Allemagne, entre 1995 et 2006, n'est pas pris en compte. C'est donc l'évolution temporelle pour chaque pays qui est étudiée ici, et non pas une comparaison du niveau des exportations. La démonstration de la formule de calcul est présentée dans l'annexe A.

Cette évolution des exportations liées aux coûts de l'énergie dépend de plusieurs facteurs. Notamment, quand toutes les exportations sont agrégées, l'évolution dépend des prix de l'énergie et de la consommation spécifique d'énergie dans le pays étudié ainsi que parmi ces partenaires commerciaux. De même, cette évolution dépend également du niveau total des exportations et de la répartition géographique de celles-ci. Par exemple, un pays peut augmenter son niveau d'exportation lié à des coûts de l'énergie plus avantageux qu'en 1995, car il exportera bien plus dans un pays avec des coûts de l'énergie plus élevés. Dans toute cette analyse, il est important de savoir que seuls les flux d'échanges entre les pays sélectionnés dans l'étude sont considérés. L'étude ne porte pas sur les exportations vers tous les pays du monde.

Un autre point, soulevé par L. Fontagné et al. (2001), réside dans l'estimation des potentiels d'échanges à partir du modèle de gravité. Habituellement, les potentiels d'échanges internationaux sont calculés à partir des valeurs simulées de l'équation économétrique. L'écart avec les échanges réellement constatés indique s'il existe ou non un potentiel d'échange. Cependant, cet écart provient à la fois d'un potentiel réel mais aussi d'une incertitude dans l'estimation du modèle (surestimation ou sous-estimation). Comme rien ne permet de distinguer ces deux effets, Fontagné et al. (2001) recommandent l'utilisation de flux ajustés, représentant une situation médiane. Cette méthode est utilisée pour calculer les flux simulés entre les pays puis pour quantifier l'effet d'ajustement lié aux

---

<sup>54</sup> Le modèle FE est utilisé comme référence dans l'analyse de la section 2.2.3.2 car il permet une analyse mathématique plus facile (voir Annexe A) et donne des résultats très proches du modèle RE/FE pour les variables de l'énergie.

coûts de l'énergie. Pour cela une formule de pondération des résultats est utilisée, où les exportations ajustées sont notées (\*) et les exportations simulées sont indiquées par (^) :

$$X_{ij}^* = \frac{\hat{X}_{ij}(\sum_j X_{ij} - X_{ij})}{\sum_j \hat{X}_{ij} - \hat{X}_{ij}} \quad (9)$$

Pour rappel, l'estimation économétrique comporte de l'incertitude dans son estimation, donnée par l'intervalle de confiance pour les coefficients. Dans cette analyse, nous nous baserons principalement sur la valeur moyenne de ces coefficients, en notant parfois la sensibilité des résultats. Cette sensibilité s'applique à tous les résultats.

### i. Papier

#### *Comparaison internationale*

Par rapport au niveau de 1995, certains pays ont réussi à diminuer significativement les coûts de l'énergie par rapport à leurs concurrents internationaux. Ces baisses de coûts ont alors augmenté le niveau total de leurs exportations par rapport à la situation de 1995, toutes choses étant égales par ailleurs. Il est important de considérer ces effets indépendamment pour l'électricité et les combustibles. Une évolution commune des deux effets implique une combinaison des effets qui fournit des résultats différents d'une simple addition. Néanmoins, l'écart entre l'impact des deux effets combinés par rapport à la somme simple des deux effets pris séparément reste faible (<10 % en moyenne pour les valeurs d'exportation).

Pour l'électricité (Figure 97), la baisse des coûts de l'électricité par tonne de papier, du fait d'une baisse des prix de l'électricité ou d'une meilleure efficacité énergétique, a permis à l'Allemagne, au Japon, au Canada, à la Corée du Sud et à l'Indonésie d'augmenter leurs exportations cumulées sur 11 ans de plus d'un milliard de dollar 2005. C'est-à-dire que si ces pays avaient conservé des coûts de l'énergie par rapport aux autres pays comparables à ceux de 1995, les exportations entre 1996 et 2006 auraient diminué de plus d'un milliard de dollar. En Allemagne, les exportations supplémentaires liées à une baisse des coûts de l'électricité se sont élevées à environ 4 milliards de \$<sub>2005</sub> (IC.75 = [2.1\*10<sup>9</sup>; 5.8\*10<sup>9</sup>]). En France, cette baisse relative des coûts de l'électricité a augmenté d'environ 600 millions de \$<sub>2005</sub> les exportations (IC.75 = [3,67\*10<sup>8</sup>; 9,89\*10<sup>8</sup>]). Inversement, on peut également calculer une diminution des importations de produits papetiers en France d'environ 540 millions de dollars, soit une hausse de la production de plus d'un milliard de dollars sur une période de onze ans. Ces valeurs représentent le résultat des politiques énergétiques sur les prix de l'électricité et sur l'amélioration de l'efficacité énergétique de l'industrie papetière dans ces pays par rapport à 1995. Cela n'indique pas que ces pays exportent plus que les autres pays grâce à des coûts de l'énergie plus faibles en moyenne.

A l'inverse, une hausse relative des coûts de l'électricité par tonne de papier par rapport à 1995 a entraîné une baisse de plus d'un milliard de dollar 2005, cumulée entre 1996 et 2006, des exportations en Chine, aux Etats-Unis et en Italie. Ces pays ont soit perdu un avantage compétitif ou accentué un désavantage déjà existant par rapport aux coûts de l'électricité dans le papier. L'utilisation des résultats de l'étude permet donc de quantifier en valeur l'effet des politiques énergétiques en matière de prix de l'énergie ou d'efficacité énergétique dans l'industrie du papier.

Ces valeurs sont ensuite comparées aux exportations totales de ces pays durant la même période (Figure 98). On note d'abord que l'effet positif très important en Allemagne est principalement lié à des volumes déjà élevés d'exportations. L'effet de l'évolution des coûts de l'énergie a augmenté d'environ 2.1 % les exportations totales entre 1996 et 2006 dans ce pays. Par contre, en Chine et en Afrique du Sud, l'augmentation de ces coûts par rapport à 1995 a entraîné une très forte chute des exportations potentielles de plus de 10 %. Notamment en Chine, cette hausse des coûts est principalement liée à une augmentation des prix de l'électricité pour l'industrie (Figure 99). A l'inverse, ce sont principalement l'Indonésie, la Russie, le Japon, la Corée du Sud et la Thaïlande qui ont augmenté leur avantage compétitif grâce aux coûts de l'électricité durant cette période (augmentation des exportations de plus 5 %).

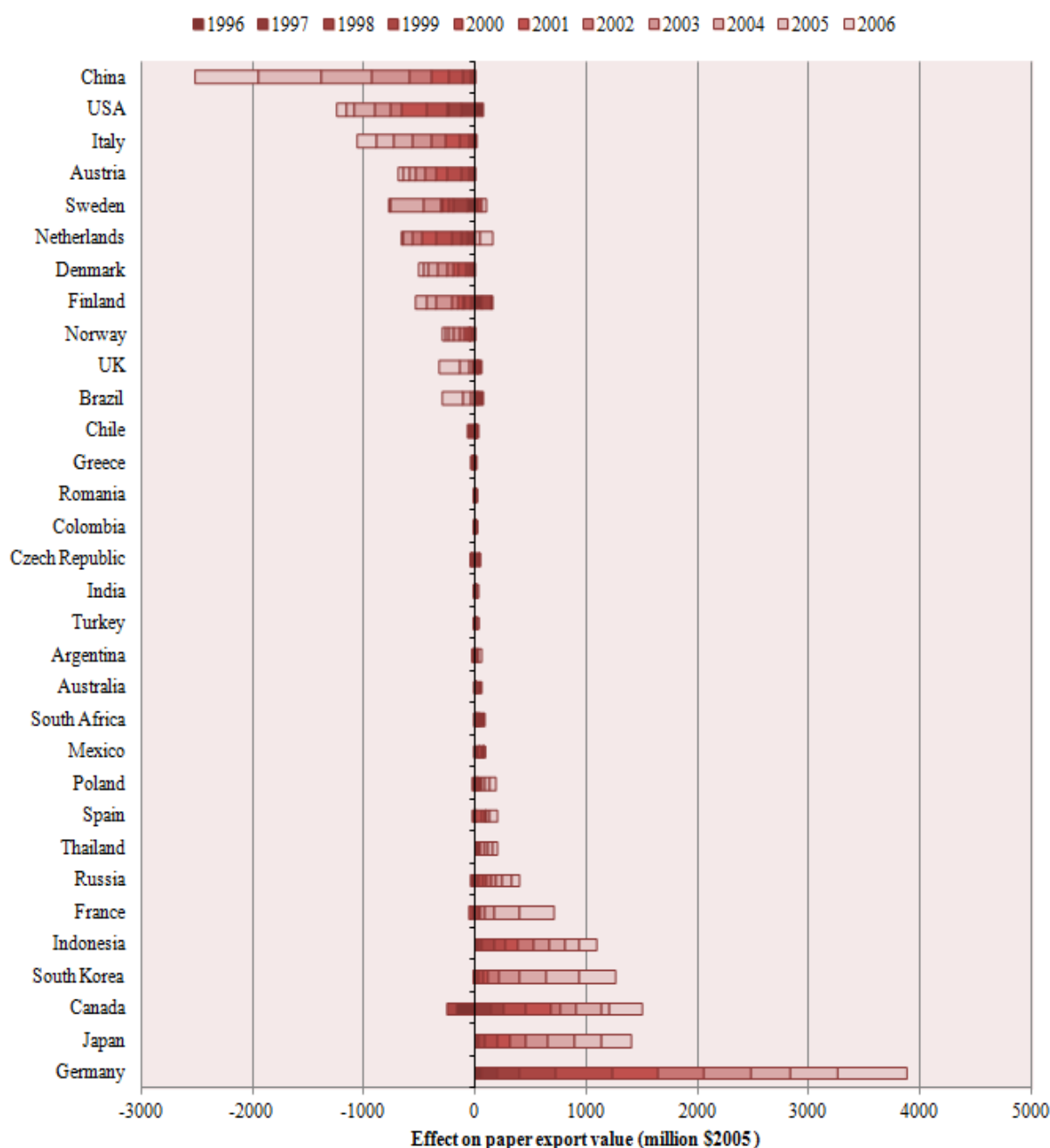
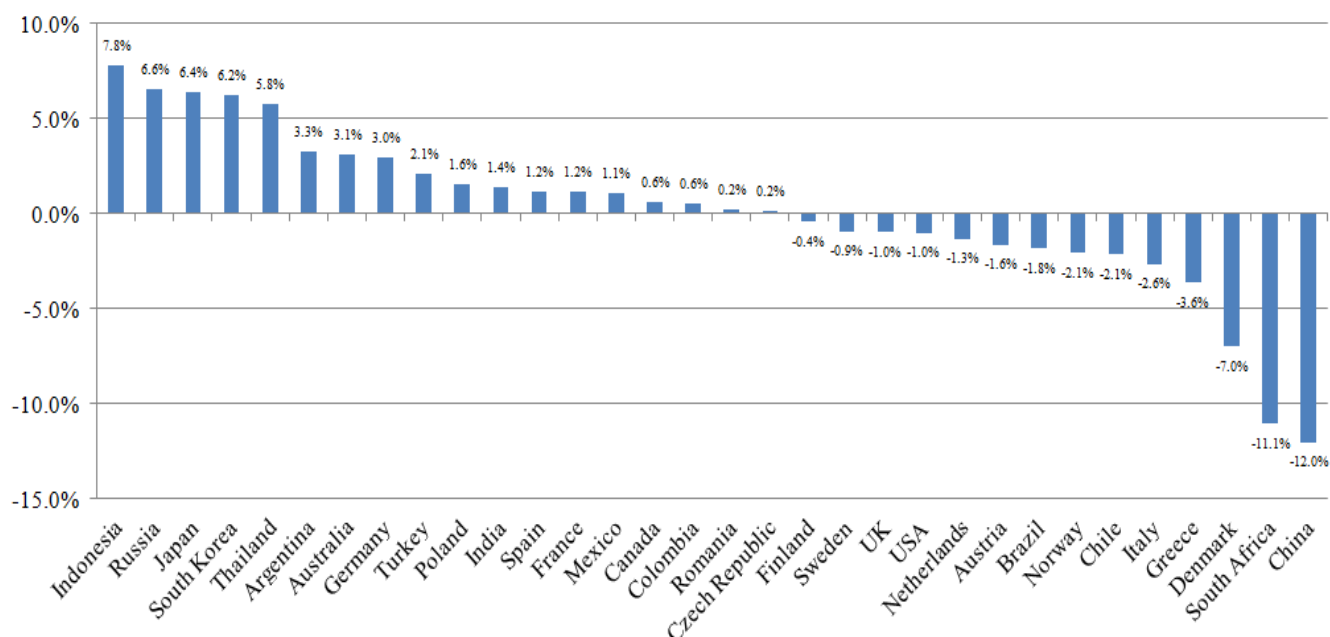
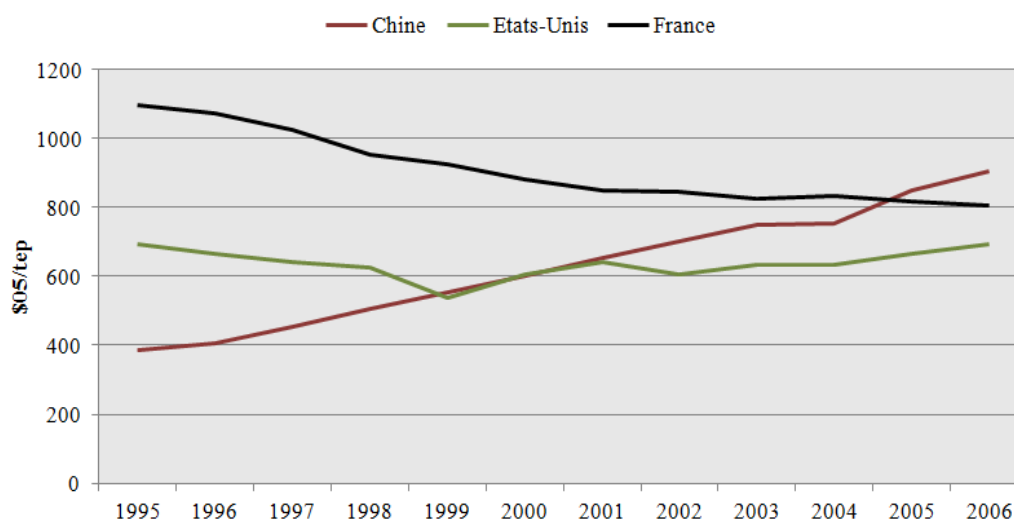


Figure 97 : Effets de l'évolution des coûts de l'électricité par rapport à 1995 sur les exportations de papier en valeur entre 1996 et 2006.



**Figure 98 : Effets de l'évolution des coûts de l'électricité par rapport à 1995 sur les exportations de papier comparées aux exportations totales en valeur entre 1995 et 2006.**



**Figure 99 : Evolution des prix de l'électricité dans l'industrie entre 1995 et 2006 en Chine, aux Etats-Unis et en France. En valeur constante \$<sub>2005</sub>. Sources : (Enerdata, 2010)**

Pour les combustibles (Figure 100), l'évolution des coûts, à partir de 1995, a surtout profité au Canada. Ce pays a su profiter d'une hausse des prix du gaz plus faible que dans les autres pays et d'une forte amélioration de l'efficacité énergétique de son industrie dans les combustibles. Grâce à cet effet, les exportations du Canada ont augmenté d'environ 10 milliards de dollar 2005, répartis sur 11 ans. Néanmoins cet effet reste comparable à celui d'autres pays comme la Pologne, l'Australie et l'Argentine partant de niveaux d'exportation bien plus bas (Figure 101). L'Allemagne bénéficie également d'une baisse significative des coûts des combustibles (+ 2 milliards de dollar

d'exportations). Au contraire, les Etats-Unis et la Suède ont perdu un potentiel de plus de 6 milliards de dollars d'exportations entre 1996 et 2006 à cause d'une hausse des coûts des combustibles dans la production de papier. De même, la France a perdu environ 1.1 milliards de \$<sub>2005</sub> d'exportations potentielles de papier ( $IC.75 = [-1.6 * 10^9; -0.86 * 10^9]$ ). De plus, l'augmentation des importations de papier est estimée à environ 390 000 \$<sub>2005</sub>. Si les coûts relatifs des combustibles étaient demeurés comparables à ceux de 1995, cette valeur aurait été ajoutée aux exportations françaises, soit environ 100 millions de dollars 2005 en plus par an. D'un point de vue relatif, ce sont surtout la Grèce, l'Afrique du Sud et le Chili qui ont été les plus affectés par une hausse des coûts des combustibles dans la production de papier, perdant chacun plus de 10 % de la valeur des exportations potentielles.

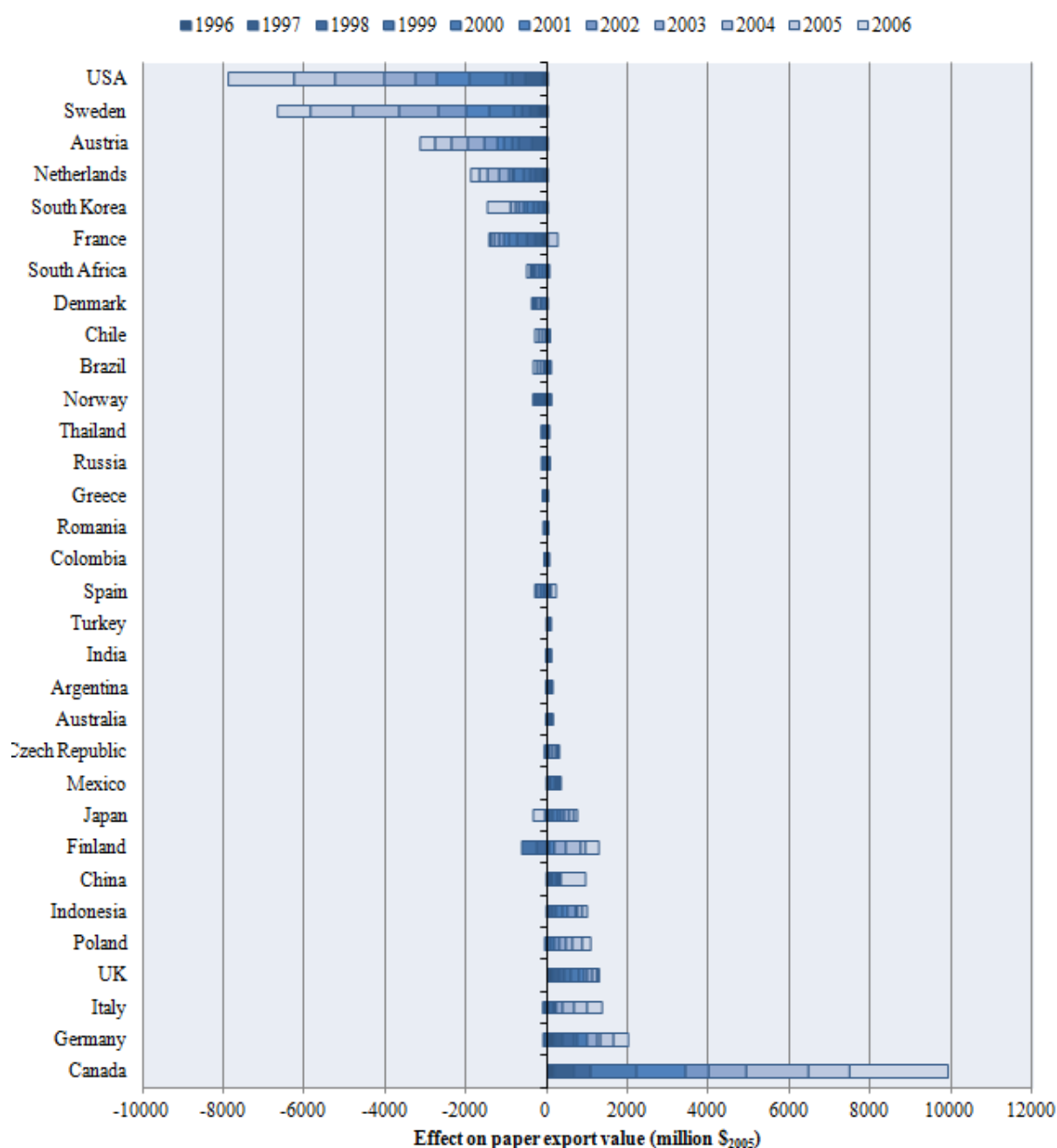
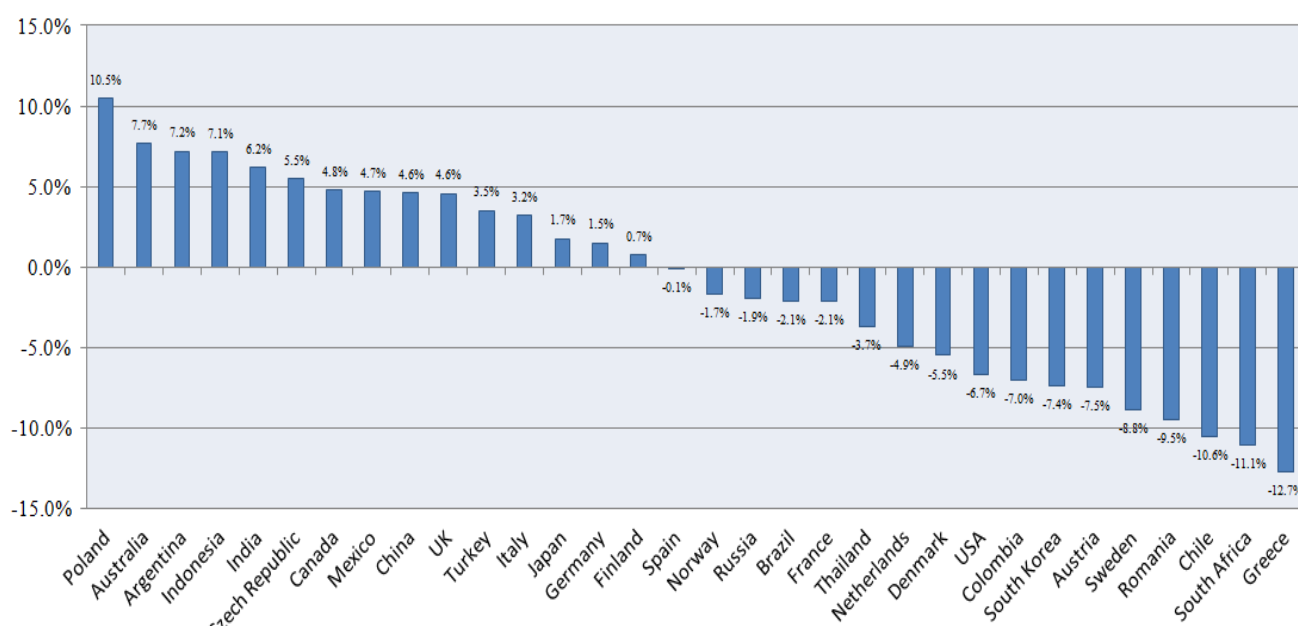


Figure 100 : Effets de l'évolution des coûts des combustibles par rapport à 1995 sur les exportations de papier en valeur entre 1996 et 2006



**Figure 101 : Effets de l'évolution des coûts de l'électricité par rapport à 1995 sur les exportations de papier comparées aux exportations totales en valeur entre 1995 et 2006.**

### *Cas de la France*

On peut également étudier plus spécifiquement l'évolution des exportations de papier de la France en fonction des coûts de l'énergie par rapport à 1995. L'étude se concentre sur les quatre principaux partenaires commerciaux de la France : l'Allemagne, l'Italie, le Royaume-Uni et l'Espagne.

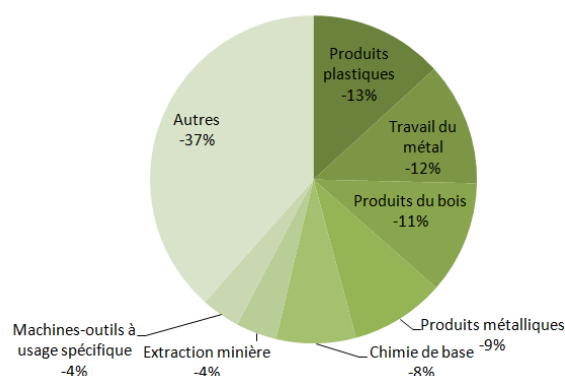
On retrouve l'effet positif des coûts de l'électricité et l'effet négatif lié aux combustibles. Comme c'est le ratio de ces coûts entre chaque pays partenaire d'un échange commercial qui est pris en compte, l'effet des coûts de l'énergie peut être bénéfique avec un partenaire et désavantageux dans un autre cas. Pour l'électricité, les producteurs de papier français ont surtout profité de coûts de l'électricité plus avantageux que leurs concurrents directs à partir de 2004/2005, ainsi qu'en 1997 (Figure 103). Notamment, les différences de coût de l'électricité ont fortement augmenté les exportations vers l'Italie et le Royaume-Uni. Les exportations vers ces deux pays ont ainsi augmenté d'environ 174 millions de \$<sub>2005</sub>, soit 79 % de la hausse nette des exportations liées aux coûts de l'électricité. Pour les combustibles, le bilan de la France est globalement négatif et contrebalance l'effet positif des coûts de l'électricité (Figure 104). L'effet a été positif seulement en 2005. A l'inverse de l'électricité, le Royaume-Uni et l'Italie ont un avantage comparatif important lié aux coûts des combustibles. Pour l'Espagne, le bilan est plus contrasté selon les années.

A l'aide des tableaux entrées-sorties de l'industrie manufacturière (présentation de leur construction dans le chapitre III de cette thèse), il est possible d'analyser l'effet sur les emplois dans l'industrie manufacturière (hors énergie) de la hausse de la production de produits papetiers liée à de plus faibles coûts relatifs de l'électricité en France, par rapport à 1995. Pour cela, des données sur l'emploi par secteur industriel en France en 2005 sont ajoutées à l'analyse entrées-sorties (INSEE, 2005a). On suppose dans cette estimation que le ratio des emplois par rapport à la valeur de production d'un secteur est homogène dans tout le secteur et permet donc de calculer la variation en emplois d'un changement de la valeur de production de l'industrie. L'utilisation des tableaux entrée-sorties permet



alors d'évaluer l'impact en termes d'emplois non seulement dans l'industrie papetière mais également dans toute les secteurs fournisseurs de l'industrie papetière. Seuls les emplois dans l'industrie manufacturière en France sont pris en compte. Ceux dans le reste de l'économie et à l'étranger sont exclus. Cette estimation se base uniquement sur l'année 2005. Néanmoins, il est important de rester prudent sur les chiffres présentés car ces estimations sont basées sur plusieurs hypothèses dont les incertitudes s'additionnent.

En tenant compte de la hausse des exportations et de la baisse des importations de produits papetiers liées à des coûts plus faibles de l'électricité par rapport à 1995, on estime une valeur de production supérieure de 305 millions d'euros 2005. Ce gain est à comparer à une situation où les coûts de l'électricité, relativement à ceux des autres pays, auraient été égaux à ceux de 1995. Ce chiffre décrit donc à la fois l'amélioration de l'efficacité énergétique dans l'industrie papetière, la baisse des prix de l'électricité et l'évolution de la structure géographique des échanges de papier. En termes d'emplois, cela se traduit par une hausse estimée d'environ 1790 emplois dans l'industrie du papier et de 2250 emplois dans toute l'industrie manufacturière française en 2005. Cela représente environ 2.2 % des emplois de l'industrie papetière en 2005. Sachant qu'en moyenne une entreprise<sup>55</sup> de l'industrie papier est composée de 145 employés, cela équivaut à environ 12 entreprises. La répartition des autres gains d'emplois (466) dans les secteurs en amont est décrite dans la figure 102.

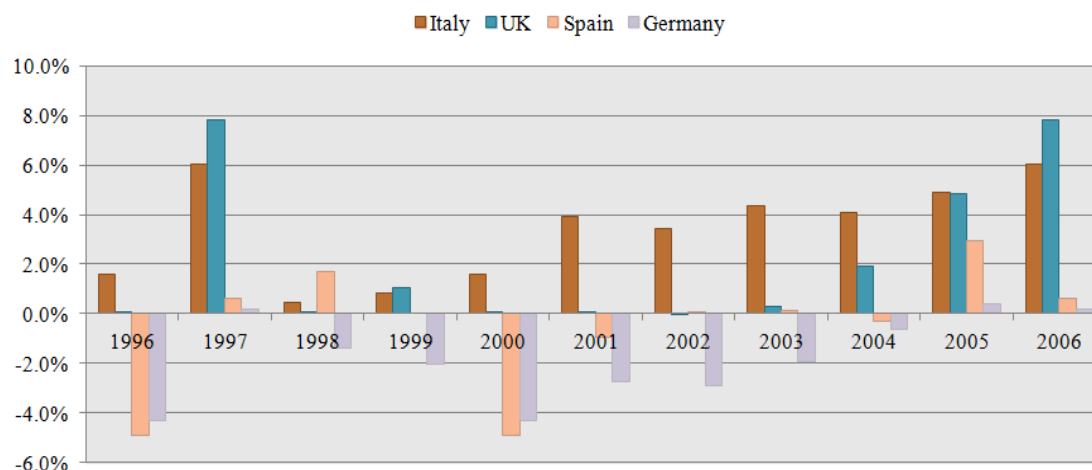


**Figure 102 : Répartition de la hausse des emplois dans l'industrie manufacturière française, hors papier, liés à une baisse relative des coûts de l'électricité par rapport à 1995.**

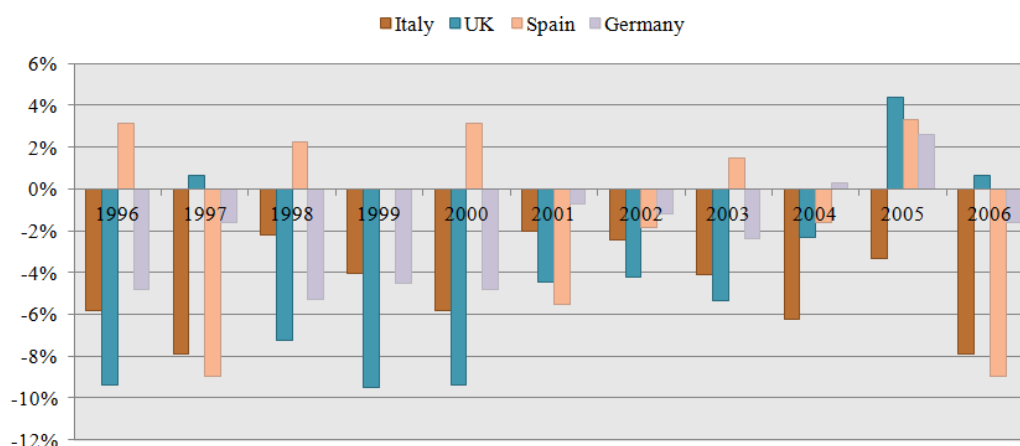
Les évolutions relatives liées aux coûts des combustibles par rapport à 1995 ont au contraire réduit le niveau de production de l'industrie papetière entre 1996 et 2006. Les données sur les tableaux entrées-sorties limitent l'étude à l'année 2005. L'effet des différences relatives de coûts des combustibles en 2005 sur les emplois est alors positif mais cela demeure une année particulière dans la période de temps étudiée. Pour cette année, l'augmentation des exportations et la baisse des importations liées par des coûts plus faibles des combustibles ont provoqué une hausse estimée de la production française de papier d'environ 410 millions d'euros 2005, toutes choses étant égales par ailleurs. Cette hausse de la valeur de la production se traduit par une augmentation du nombre de salariés d'environ 2410 dans l'industrie du papier et de 630 emplois dans les autres secteurs de l'industrie manufacturière française. Ce nombre équivaut à environ 17 entreprises dans l'industrie du papier. La répartition de ces emplois dans les autres secteurs est la même que pour les coûts de l'électricité (Figure 102).

<sup>55</sup> Seules les entreprises de plus 20 employées sont prises en compte dans ce calcul.

De manière générale, l'effet combiné<sup>56</sup> des coûts relatifs de l'électricité et des coûts relatifs des combustibles, par rapport à 1995, a augmenté d'environ 4200 le nombre d'emplois, en 2005, dans l'industrie du papier, au travers des échanges internationaux. A ce nombre s'ajoute également 1100 emplois dans les autres secteurs industriels français en relation directe ou indirecte avec l'industrie du papier<sup>57</sup> (hors énergie). Cela représente environ 5 % de l'emploi de l'industrie du papier lors de cette année.



**Figure 103 : Effets annuels de l'évolution par rapport à 1995 des coûts relatifs de l'électricité sur les exportations de papier de la France vers quatre pays entre 1996 et 2006.**



**Figure 104 : Effets annuels de l'évolution par rapport à 1995 des coûts relatifs des combustibles sur les exportations de papier de la France vers quatre pays entre 1996 et 2006.**

<sup>56</sup> L'écart de valeur entre l'effet combiné et la somme de deux effets pour l'électricité et les combustibles est inférieur à 1 %.

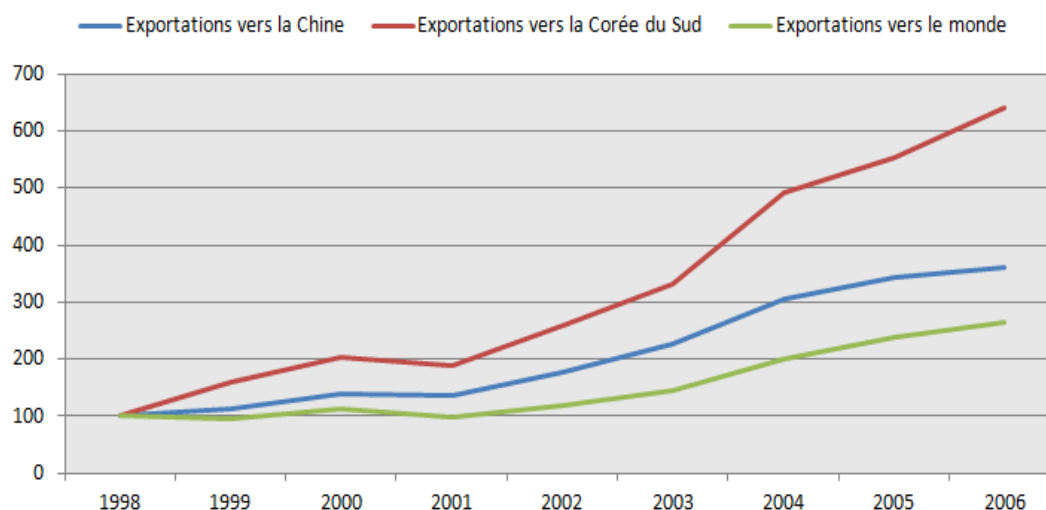
<sup>57</sup> Pour être plus précis, il faudrait prendre en compte l'impact de la baisse de production de papier dans les pays en relation avec le France et l'effet sur les secteurs fournisseurs situés en France.

## ii. Sidérurgie

La même méthode d'estimation est utilisée pour la sidérurgie. Néanmoins, l'année de référence est désormais 1998. De plus, on étudie l'effet de l'évolution temporelle, pour un pays donné, de la moyenne sur deux ans du ratio des coûts de l'énergie entre le pays exportateur et le pays importateur.

*Comparaison Internationale*

Dans la sidérurgie, l'évolution des coûts de l'énergie par rapport à 1998 a surtout profité à quatre pays : Japon, Russie, Chine et France. Il n'y a donc pas forcément de correspondance de pays entre les résultats pour l'industrie du papier et ceux pour la sidérurgie. Pour chacun de ces quatre pays, le gain cumulé sur les exportations grâce aux avantages compétitifs dans les coûts de l'énergie s'élève à plus de 2 milliards de dollars 2005 entre 1998 et 2006. Au Japon, la baisse des coûts de l'énergie par rapport aux autres pays et à 1998, a permis une hausse des exportations de 8,1 milliards de dollars (IC.75 =  $[4.5 \cdot 10^9; 12.1 \cdot 10^9]$ ). La baisse relative des coûts de l'énergie dans l'industrie sidérurgique au Japon est principalement liée à une baisse des prix de l'électricité par rapport à 1998 et à l'augmentation très forte des exportations vers la Corée du Sud et la Chine. Ces deux pays ont en effet connu une augmentation importante de leurs coûts de l'énergie par rapport au Japon. Les exportations du Japon vers ces deux pays représentaient environ un quart des exportations totales du Japon en 1998 et la moitié en 2006 (Figure 105).

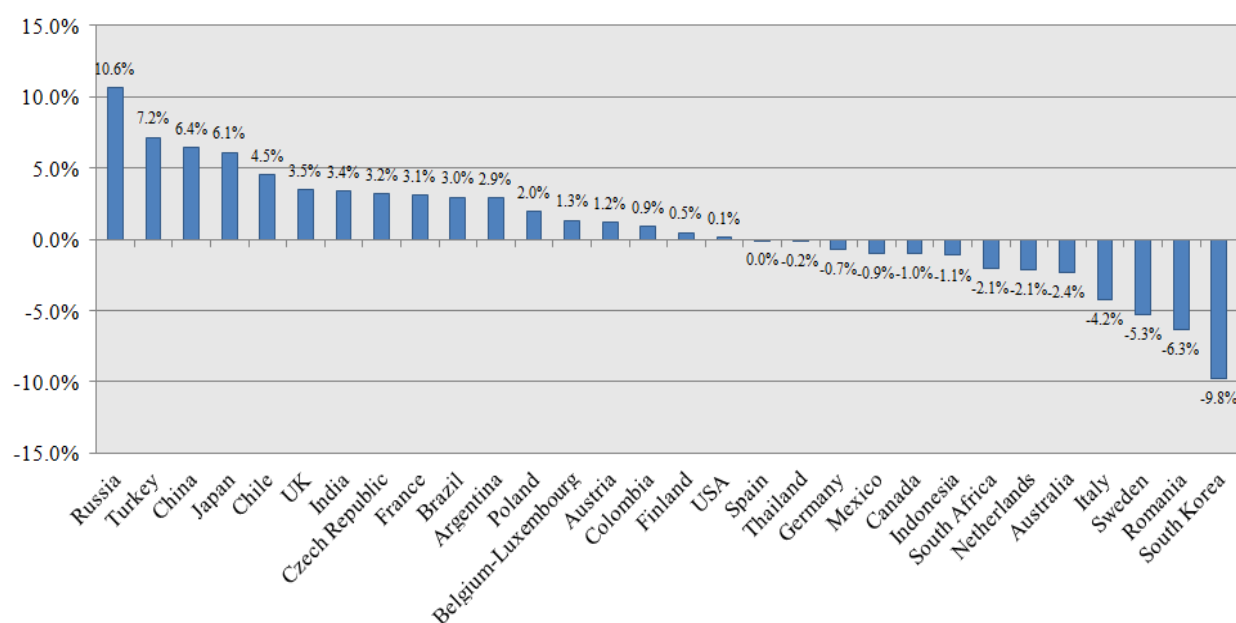


**Figure 105 : Evolution des exportations d'acier du Japon vers la Chine, la Corée du Sud et vers le monde entre 1998 et 2006. Indice 100 : 1998. Sources : (UN Comtrade, 2012)**

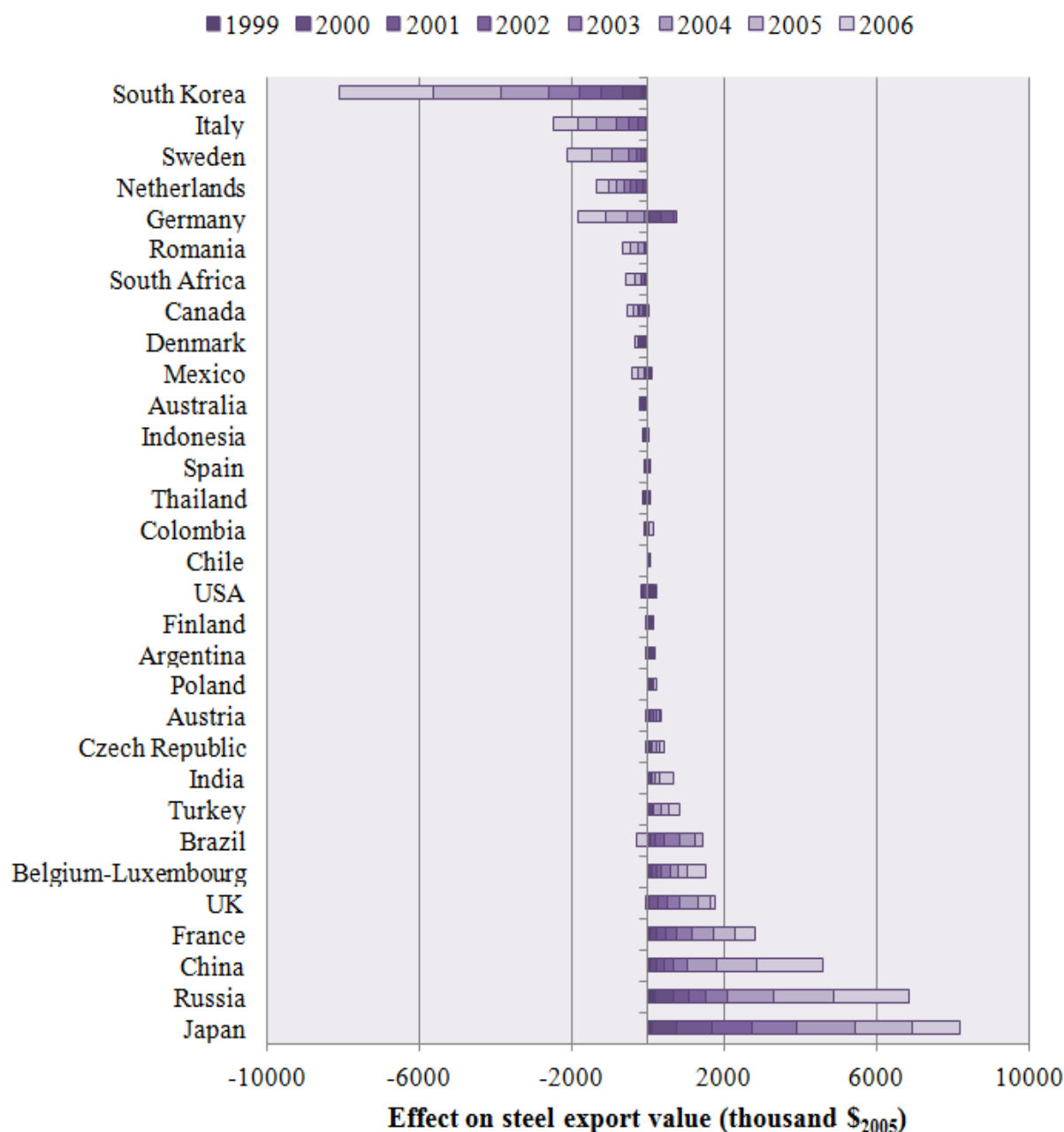
La France a également augmenté ses exportations d'acier d'environ 2.8 milliards de dollar par rapport à 1998, répartis sur 8 ans, grâce à des coûts de l'énergie plus avantageux (IC.75 =  $[1.5 \cdot 10^9; 4.2 \cdot 10^9]$ ). L'effet des coûts de l'énergie a également réduit les importations d'acier d'environ 1.3 milliards de dollars. Cela représente donc une hausse de la valeur de la production d'acier d'environ 4.1 milliards de dollars 2005 par rapport à une situation où les coûts relatifs de l'énergie seraient demeurés équivalents à ceux de 1998, soit en moyenne 455 millions d'euros par an en plus, entre 1999 et 2006.

A l'inverse, la Corée du Sud a été fortement désavantagée par une hausse relative des coûts de l'énergie dans la sidérurgie par rapport à 1998, avec une diminution estimée de plus 8 milliards de dollars des exportations. Cette baisse de compétitivité est symétrique à la hausse des principaux partenaires commerciaux de la Corée du Sud dans la sidérurgie ; la Chine et le Japon. L'Italie et la Suède ont également été désavantagées par une hausse relative des coûts de l'énergie dans leur industrie sidérurgique.

Si l'on compare ces variations d'exportations en valeur par rapport à la valeur totale des exportations, la Corée du Sud apparaît bien comme le pays le plus affecté par une dégradation de sa compétitivité énergétique dans la sidérurgie avec une baisse de 9.8 % des exportations en moyenne par rapport à 1998 (Figure 106). Au contraire, la Russie a fortement augmenté ces exportations par rapport à 1998 grâce à une baisse relative des coûts de l'énergie. On retrouve cette tendance dans l'étude des coûts de l'énergie de l'usine russe par rapport aux autres usines, présentée figure 86. Pour la France, l'augmentation a représenté 3.1 % du total des exportations entre 1998 et 2006.



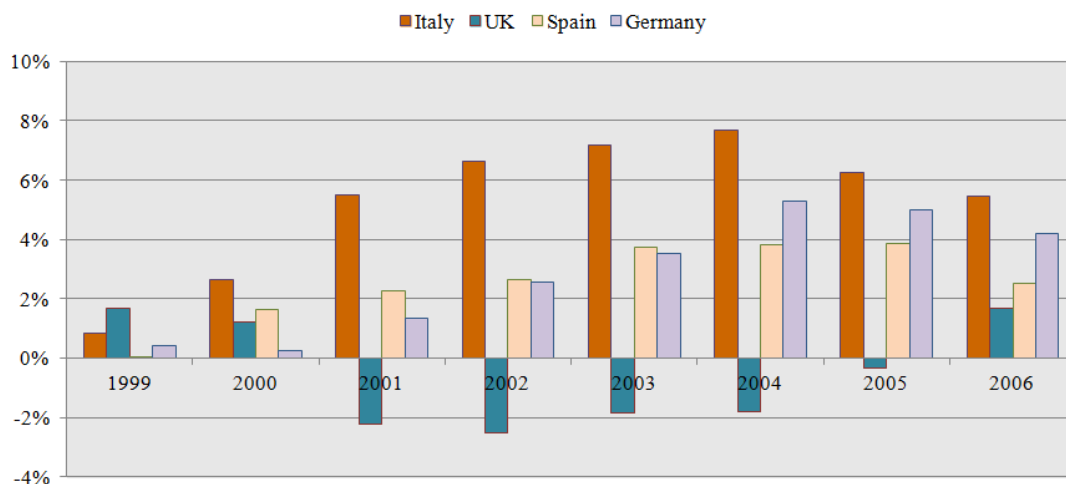
**Figure 106 : Effets de l'évolution des coûts de l'énergie par rapport à 1998 sur les exportations d'acier comparées aux exportations totales en valeur entre 1999 et 2006.**



**Figure 107 : Effets de l'évolution des coûts de l'énergie par rapport à 1998 sur les exportations d'acier en valeur entre 1999 et 2006.**

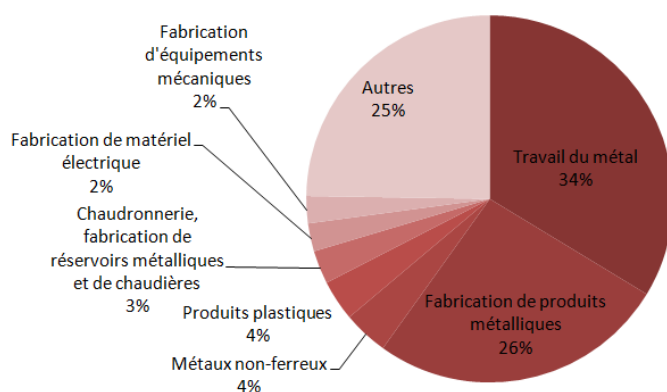
#### *Cas de la France*

Par rapport aux quatre pays limitrophes, le bilan a été très positif pour la sidérurgie française (Figure 108). En comparaison de la situation de 1998, l'évolution des prix de l'énergie et de l'efficacité énergétique pour la production d'acier en France a permis de fortement augmenter les exportations de ces produits vers l'Italie, l'Espagne et l'Allemagne. Cette augmentation s'est principalement produite à partir de 2001 jusqu'en 2006. Le bilan avec le Royaume-Uni est plus contrasté.



**Figure 108 : Effets annuels de l'évolution par rapport à 1998 des coûts relatifs de l'énergie par rapport à 1998 sur les exportations de papier de la France vers quatre pays entre 1999 et 2006.**

Au niveau des emplois, la même méthode d'estimation des effets d'une variation de la valeur de production que pour l'industrie du papier est utilisée pour la sidérurgie en 2005. On estime alors l'effet de l'évolution en 2005 des coûts relatifs de l'énergie par rapport à ceux de 1998 dans la sidérurgie en France sur les échanges internationaux d'acier ainsi que sur les emplois nécessaires à la production de ces aciers échangés. Selon l'estimation économétrique du modèle de gravité, la France a augmenté sa production d'acier de 872 millions de dollars en 2005 par rapport à 1998 grâce à des coûts avantageux de l'énergie. Ce gain de production représente environ 1820 emplois dans la sidérurgie en 2005. Cela équivaut à 3.3 % des emplois de cette industrie lors de cette année. En utilisant les tableaux entrées-sorties, on peut également estimer le gain en emplois dans le reste de l'industrie manufacturière française à 624 emplois répartis principalement dans le travail du métal (services industriels du travail des métaux) et dans la fabrication de produits métalliques (Figure 109).



**Figure 109 : Répartition de la hausse des emplois dans l'industrie manufacturière française, hors sidérurgie, liés à une baisse relative des coûts de l'énergie par rapport à 1998.**

#### 2.2.4) CONCLUSION SUR L'EFFET DES COÛTS DE L'ÉNERGIE SUR LES ÉCHANGES INTERNATIONAUX

Cette section utilise un modèle de gravité pour étudier l'effet des coûts de l'énergie sur les échanges internationaux de l'industrie du papier et de la sidérurgie. Cette étude est basée sur un échantillon de 32 pays répartis dans le monde entre 1995 et 2006 (31 pays et à partir de 1997 pour l'acier). Le cadre théorique du modèle d'Eaton et Kortum (2002) justifie l'addition des coûts de l'énergie comme variable explicative en plus de la taille économique des pays, des barrières à l'échange et d'autres coûts de production inclus dans les effets individuels fixes. On obtient alors une équation structurelle des échanges définissant le potentiel normal d'échanges entre deux pays. Les coûts de l'énergie induisent une déviation vis-à-vis de ce potentiel d'échange en faveur du pays possédant un avantage compétitif pour ces coûts. L'estimation de la relation entre les coûts de l'énergie et la déviation des échanges par rapport au potentiel estimé, sur plus de 12000 observations dans le papier et plus de 9000 dans l'acier, permet de calculer une élasticité reliant exportations et coûts de l'énergie.

L'estimation de cette élasticité indique qu'une hausse de 1 % du ratio des coûts de l'électricité, c'est-à-dire le rapport des coûts de l'électricité dans le pays exportateur par rapport à ceux du pays importateur, diminuent les exportations d'environ 0.092 % dans l'industrie du papier. De même, une hausse de 1 % du ratio des coûts des combustibles mènent en moyenne à une baisse de 0.137 % des exportations de papier. Dans la sidérurgie, l'analyse se porte sur le coût de l'ensemble des énergies par tonne d'acier produit. Une hausse de 1 % du ratio de la moyenne sur deux ans des coûts de l'énergie implique une baisse de 0.19 % des exportations. Le rôle des coûts de l'énergie sur les échanges internationaux est donc clairement identifié à la fois dans l'industrie du papier et dans la sidérurgie. Une hausse des coûts de l'énergie induite par une hausse des prix de l'énergie ou par une baisse de l'efficacité énergétique, diminue les exportations d'un pays et donc sa compétitivité internationale pour des industries grandes consommatrices d'énergie comme le papier et l'acier.

Cette étude permet également de quantifier l'effet de l'énergie sur la compétitivité internationale. Cette méthode permet d'étudier l'impact ex-post d'une politique énergétique sur les prix ou sur l'efficacité énergétique dans un secteur. Les résultats de l'estimation peuvent également être intégrés dans une simulation numérique de ces industries, « bottom-up » comme TIMES (Djemaa, 2009) ou à équilibre partiel (Kallio et al., 2004). En effet, l'utilisation de ces résultats dans un modèle de prévision des consommations énergétiques de ces industries permettrait dans un premier temps d'optimiser le choix du procédé pour minimiser les coûts de l'énergie en fonction des prix, puis d'évaluer l'effet sur la compétitivité de ces évolutions. La plupart de ces modèles ne prennent pas en compte l'évolution de la compétitivité des industries étudiées ou utilisent des élasticités d'Armington souvent calculées sur toute la production manufacturière.

Notamment, l'analyse des résultats sur l'industrie du papier et de la sidérurgie permet d'évaluer l'impact de l'évolution des coûts de l'énergie sur les échanges internationaux par rapport à 1995 dans l'industrie du papier et par rapport à 1998 pour la sidérurgie. La modélisation contenant des effets individuels ne permet pas de comprendre les variations du niveau moyen de chaque flux bilatéral mais les variations temporelles pour un flux bilatéral précis. Pour la France, dans le papier, on estime ainsi une augmentation de la valeur de production de 1.1 milliards de dollars 2005 entre 1996 et 2006 grâce à une baisse relative des coûts de l'électricité. Cette hausse n'aurait pas eu lieu si les coûts de l'électricité étaient restés similaires à ceux de 1995 par rapport à ceux des autres concurrents. Néanmoins cet effet est contrebalancé sur la même période par une baisse de 1.5 milliards de dollar



liée à la hausse relative des coûts des combustibles. Dans la sidérurgie, toujours pour la France, la baisse relative des coûts de l'énergie par rapport à 1998, a provoqué une augmentation estimée de 4.1 milliards de dollar entre 1999 et 2006. Ainsi, l'évolution des prix de l'énergie, de l'efficacité énergétique et de la structure géographique des échanges en France a diminué la valeur de la production dans l'industrie du papier et l'a augmentée dans la sidérurgie. En termes d'emplois, pour l'année 2005, les coûts de l'énergie ont été bénéfiques à ces deux industries et aux secteurs en amont. Le gain dans l'industrie du papier est estimé à environ 4200 emplois et à 1100 emplois dans les secteurs fournisseurs. Pour la sidérurgie, le gain est estimé à 1820 dans la production d'acier et à environ 620 dans les autres secteurs. Ces emplois sont directement liés à la compétitivité sur les coûts de l'énergie de ces deux industries. La quantification du rôle de l'énergie nous informe donc directement sur les conséquences de politiques et de chocs énergétiques.

### **2.3) POIDS RELATIF DES COUTS DE L'ENERGIE DANS LA COMPETITIVITE DE LA PRODUCTION NATIONALE DES INDUSTRIES DU PAPIER ET DE L'ACIER**

#### **2.3.1) L'ABONDANCE DES RESSOURCES ET LA PROXIMITE DES MARCHES AU CŒUR DES PRECEDENTES RECHERCHES**

P eu d'études ont étudié les facteurs affectant la localisation internationale des industries grandes consommatrices d'énergies telles que les industries du papier et de l'acier. Dans la sidérurgie, le nombre d'études économiques de ce type est bien plus restreint que dans l'industrie du papier. Ces travaux se limitent souvent à un pays ou regroupent plusieurs secteurs industriels, sans distinction précise de l'un d'entre eux. Leur objectif a principalement été de déterminer le rôle de l'abondance en matière premières sur les décisions de localisation ou sur les comportements d'investissements. Pour l'industrie du papier, ce sont surtout les ressources en bois et en vieux papier qui ont été étudiées. Dans la sidérurgie, ces études se sont concentrées sur les différences de coûts de l'électricité, du coke de charbon et du minerai de fer entre les états américains.

De nombreux travaux économiques sur l'industrie se sont concentrés sur la distinction entre l'attraction des marchés (« market pull ») et l'attraction des ressources (« materials pull ») sur les choix de localisation de l'industrie (Beeson & Giarratani, 1998). La problématique étant de savoir si les industries suivent la dynamique spatiale des marchés ou si leur localisation reste déterminée par la proximité des facteurs de production. Par exemple dans la sidérurgie, Hekman (1978) démontre que c'est principalement la croissance des marchés qui oriente la spécialisation de la production dans les états américains. Au contraire, Karlson (1983) réfute cet effet en montrant la faible réactivité des acheteurs d'aciers face aux prix, et conclut qu'il n'est pas plausible de relier localisation de la production et proximité des marchés. De façon plus générale, Duffy (1994) a étudié ces effets pour 19 industries entre 1954 et 1987 aux Etats-Unis. Ces résultats démontrent que l'évolution des marchés est le facteur majeur des variations de l'emploi dans 18 de ces industries. Les coûts de la main d'œuvre sont également un facteur important de la localisation de ces industries. Il n'existe pas de conclusion définitive sur le sujet, ni de méthode d'analyse communément acceptée. De plus, les auteurs de ces recherches admettent que de nombreux autres facteurs peuvent avoir un effet sur l'attractivité d'un lieu tels que les coûts de la main d'œuvre, la qualité de la production ou les infrastructures de transport (Bonnefoi & Buongiorno, 1990).

Les études sur les industries du papier et de l'acier se basent pour la plupart sur les théories classiques du commerce international, tel que le modèle de Heckscher-Ohlin. Selon ce modèle, les investissements et la spécialisation dans une industrie se situe là où les facteurs de production sont abondants et/ou où ces facteurs sont à bas prix. Cette théorie peut être formalisée par l'intermédiaire d'une équation développée par Leamer. Cette équation possède l'avantage d'être simple mais repose sur des hypothèses théoriques fortes<sup>58</sup> (Bonnefoi & Buongiorno, 1990; Leamer, 1984; Trefler, 1993).

---

<sup>58</sup> Les principales hypothèses du modèle de Heckscher-Ohlin sont : (1) les facteurs de production (naturels, travail et capital) sont immobiles entre les pays, (2) il y a une compétition parfaite pour les produits manufacturés et les services, (3) la technologie de production est disponible pour tous les producteurs sans coût, (4) les individus consomment selon une fonction d'utilité homothétique (Leamer, 1984), (Prestemon & Buongiorno, 1997). Krugman considère ces hypothèses comme non vérifiées dans les marchés internationaux ;

Certains travaux utilisent les nouveaux concepts introduits dans les domaines de l'économie industrielle et de la nouvelle économie du commerce internationale (« New Trade Theory »), soulignant l'importance de la proximité aux consommateurs, des externalités et des coûts de transaction (Bergman & Johansson, 2002; Krugman, 1991; Venables, 1996).

### 2.3.1.1) ETUDES DES DETERMINANTS DES AVANTAGES COMPARATIFS ET DU SOLDE DES ECHANGES

---

Les premières études ont d'abord tenté de définir et d'expliquer les différences dans les avantages comparatifs des industries forestières, que ce soit au niveau international ou à l'intérieur des Etats-Unis (Bonnetfoi & Buongiorno, 1990; Prestemon & Buongiorno, 1997). Les auteurs utilisent les avantages comparatifs révélés comme variable expliquée<sup>59</sup> et emploient la méthode classique de régression des moindres carrés ordinaires pour des données longitudinales (MCO). Dans ces deux études, l'abondance de bois d'un pays ainsi que la demande domestique apparaissent alors comme des déterminants majeurs du commerce de produits forestiers, notamment pour le papier.

Plus récemment, Lundmark (2010) a analysé le solde net des échanges dans les produits forestiers (le papier n'est pas inclus) avec un cadre théorique similaire. De nouveaux facteurs de compétitivité sont introduits dans l'équation économétrique (i.e. politiques sur les énergies renouvelables). Une méthode économétrique plus avancée est également utilisée sur un panel de pays européens, introduisant des pentes spécifiques à chaque pays pour les variables explicatives. D'un point de vue méthodologique, il en résulte que l'utilisation du solde net des échanges en tant que variable expliquée procure de meilleures estimations qu'avec l'utilisation des avantages comparatifs révélés. De plus, l'inclusion de nouvelles variables, que celles liées aux théories classiques du commerce international, améliore les résultats des modèles. Cela démontre qu'il est « *important d'inclure d'autres variables explicatives en ajout à celles stipulées par la théorie de Heckscher-Ohlin* » (Lundmark, 2010). Dans les résultats, l'abondance en ressources forestières est un facteur explicatif important des écarts dans le solde net des échanges entre pays. Ce n'est pas le cas dans cette étude pour la demande domestique, mesurée par le niveau de revenu (PIB par habitant). La localisation de l'industrie forestière semble donc principalement liée à la présence de ressources et non à l'existence d'un marché local.

Ces résultats semblent contredire les travaux d'Uusivuori et Tervo (2002) sur les avantages comparatifs dans le commerce de produits forestiers dans 18 pays de l'OCDE entre 1977 et 1998. Dans cette étude, l'abondance de ressources forestières n'apparaît pas comme un facteur essentiel de la compétitivité des pays dans l'industrie forestière avec l'utilisation d'effets fixes par pays. Néanmoins, dans l'analyse entre pays (« cross-country »), ce facteur est significatif pour expliquer le niveau des avantages comparatifs entre pays. La disparité dans les résultats résulte de l'utilisation des effets fixes par pays. Les auteurs expliquent que lorsqu'on analyse les avantages comparatifs sur des séries de temps dans un pays donné, la formation de cet avantage est antérieure à la période d'analyse. Les séries de temps ne peuvent donc pas expliquer le rôle des ressources dans la spécialisation industrielle des pays si la période de temps est trop restreinte. En outre, les conclusions de leur recherche

---

par exemple, la plupart du commerce international de produits manufacturés existe sous une forme oligopolistique (Krugman, 1989).

<sup>59</sup> L'avantage comparatif révélé décrit la spécialisation productive d'une économie. Cet indicateur représente le ratio du pourcentage d'exportation d'un type précis de produit sur toutes les exportations de biens pour un pays sur ce même pourcentage au niveau mondial (Balassa, 1965).

indiquent que l'ajout des variations de la productivité dans les industries étudiées pourrait améliorer la robustesse des études en séries temporelles.

Ce premier groupe de travaux introduit donc l'étude économétrique dans l'analyse de la spécialisation des pays dans l'industrie forestière. Leur but a principalement consisté à démontrer le rôle des ressources naturelles dans le développement de cette industrie. Ces travaux reposent sur des données continues. L'étude du solde des échanges apparaît alors plus pertinente que l'analyse de l'indicateur des avantages comparatifs révélés. De plus, l'utilisation des effets individuels soulèvent des problèmes dans l'estimation des facteurs explicatifs. Similairement à ces travaux, notre étude sur la localisation de la production des IGCE se base sur une variable endogène continue de production en intégrant les ressources et la demande domestique comme facteurs explicatifs. Le niveau de production non expliqué par la demande domestique représente indirectement le solde net des échanges. Enfin, les effets individuels sont utilisés mais ils sont ensuite comparés à d'autres méthodes permettant l'analyse des variations entre pays.

### **2.3.1.2) ETUDES COMPARATIVES DES FACTEURS DE LOCALISATION DES INDUSTRIES DU PAPIER ET DE L'ACIER**

---

Le second groupe d'études empiriques sur la localisation de l'industrie se concentre au niveau des usines de production. Ces travaux analysent les investissements en capacité et/ou les fermetures. La spécification des modèles se basent sur les résultats de l'économie industrielle et de la nouvelle économie du commerce internationale, avec moins de restrictions que dans le modèle de Heckscher-Ohlin. Notamment, des facteurs de localisation tels que la taille des marchés ou les effets d'agglomération sont introduits. L'objectif de ces études est de comparer l'effet de différents facteurs sur les décisions de localisation dans l'industrie, et donc de l'attractivité d'un pays pour celle-ci.

Lundmark a examiné cette question avec deux études économétriques sur l'industrie du papier dans les pays européens. Une méthode de choix discrets en logit conditionnel est utilisée dans la première étude et la seconde se base sur des données continues sur les flux d'investissements (Lundmark, 2001; 2003). Dans les deux modèles, les effets de l'agglomération des industries dans les pays, des salaires et de la taille du marché locale sont déterminants dans la localisation. Au contraire, les résultats pour le prix des matières premières et de l'électricité ne sont pas concluants, avec de faibles niveaux de significativité. Notamment, des effets négatifs sur l'investissement sont normalement attendus pour une hausse des prix de l'électricité. Mais les résultats sont contradictoires, avec des signes positifs pour les coefficients selon les catégories de papier. Cet effet inattendu provient éventuellement de la seule prise en compte des prix de l'électricité et non des coûts auxquels font face les producteurs. Des pays peuvent avoir des prix élevés mais une consommation spécifique faible. Des prix élevés de l'énergie encourage souvent une meilleure efficacité énergétique (Fleiter et al., 2012). Les résultats suggèrent donc que la localisation des investissements dans l'industrie du papier européenne dépend fortement de la taille des marchés locaux et peu du prix des ressources en matières premières et en énergie. Néanmoins, même si l'industrie du papier est considérée comme peu intensive en travail, les coûts de la main d'œuvre représentent un point important dans les décisions d'investissement.

Une autre étude sur les choix d'investissement dans l'industrie du papier a été réalisée par Bergman et Johansson (2002) sur un panel de 15 pays européens entre 1988 et 1997. Ces auteurs utilisent un

modèle économétrique à choix discrets basé sur des méthodes spécifiques aux données de dénombrement<sup>60</sup>. Les variables utilisées et comparées incluent :

- Salaires
- Coûts du capital (taux d'intérêts)
- Prix des matières premières
- Prix de l'électricité
- Population
- Croissance du PIB
- Taux de change
- Capacités de production (effets d'agglomération)

Les résultats de cette étude permettent de déterminer que les salaires, la capacité de production installée, le prix du papier et le taux de change sont les principaux déterminants du choix de localisation des investissements des industriels du papier. A l'inverse du travail de R. Lundmark (2001), la demande domestique<sup>61</sup> n'est pas significative dans les choix d'investissement. De même, les coûts du capital, le prix des ressources premières et de l'électricité apparaissent comme peu significatifs. Aucune conclusion ne peut donc être portée sur les résultats pour ces variables.

Un point commun de cette étude et de celle de R. Lundmark est l'utilisation des effets d'agglomération avec l'inclusion des capacités de production comme variable explicative des investissements. Ces effets d'agglomération sont régulièrement utilisés depuis le travail de Head et al. (1995). Ils indiquent que la présence importante d'une industrie dans un pays crée des externalités positives pour les acteurs de cette même industrie. Ces effets augmentent donc l'attractivité d'un pays pour les investisseurs.

Cependant, un problème important réside dans la difficulté de différencier cet effet d'agglomération de celui du remplacement des machines dans les usines en activité, nécessitant également des investissements de maintenance (Bergman & Johansson, 2002). Même si les changements de capacité sont utilisés comme variable endogène, il est très probable que ceux-ci s'effectuent le plus souvent dans des usines existantes et plus rarement dans de nouvelles usines. Par exemple, le remplacement d'une machine ancienne par une plus récente induit généralement une capacité de production plus élevée du fait de l'évolution des procédés de production dans le papier (Diesen, 2007). Il est donc pertinent d'introduire les effets d'agglomération mais l'utilisation de la capacité de production existante comme unité de mesure peut également représenter d'autres mécanismes : « *Existing production capacity attracts investments, both through the need for continuous investments to maintain the existing capital stock and through 'true' agglomeration effects. The estimation results do not permit the separation of these two effects: only an aggregate is attained. Furthermore, since onsite investments are more common than green-field investments it is believed that the agglomeration variable largely captures the flow of investments that goes into existing capacity* » (Lundmark, 2003, p.190).

Dans la sidérurgie, les travaux de P. Beeson et F. Giarratani (1998) comparent également l'effet de différents facteurs sur les choix de localisation des fermetures de hauts-fourneaux parmi les états américains entre 1974 et 1991. La variable endogène représente les évolutions de capacité en

<sup>60</sup> Trois méthodes sont utilisées : (1) un modèle binomial négatif avec des effets aléatoires, (2) un estimateur conditionnel de Poisson avec le maximum de vraisemblance (CMLE) et (3) un estimateur des moments généralisés (GMM) avec des effets fixes (Bergman & Johansson, 2002).

<sup>61</sup> La demande domestique est approximée par la population et la croissance du PIB.

pourcentage pour chaque usine. Une méthode Tobit est utilisée pour prendre en compte la limite physique à un changement de capacité liée à une fermeture (-100 %). Par rapport à l'énergie, l'étude indique que les prix de l'électricité augmentent le risque de baisse de capacité et de fermeture d'une usine. Les usines dans un état avec des prix de l'électricité supérieurs de 10 % à la moyenne ont subi des baisses de capacités de production supérieures de 14.2 % et connaissent une probabilité de fermeture augmentée de 12.6 %. Pour le prix du coke, l'estimation statistique n'est pas significative. Les auteurs ont également introduit une mesure de la régulation environnementale. Celle-ci semble avoir un impact significatif sur la localisation des fermetures d'usines mais pas sur les choix de changement de capacité. De manière générale, c'est surtout la distribution géographique de la demande et de la compétition de la part des fours électriques et des importations qui jouent un rôle dans la localisation des baisses de capacité des hauts-fourneaux. Les conditions de la demande apparaissent donc plus déterminantes que les coûts de production dans la localisation de l'industrie sidérurgique aux Etats-Unis.

Le tableau 14 regroupe les principaux résultats des travaux précédemment décrits. La demande locale joue un rôle important dans chacun de ces modèles, même si elle est approximée de différentes manières. Beeson (1998) introduit également la notion de concurrence spatiale. Pour les coûts de production, les salaires ressortent souvent comme significatifs et négatifs pour la localisation d'une industrie. La plupart des autres variables de coût ont des résultats peu significatifs et parfois contradictoires dans leurs signes. Ces modèles ont donc bien identifié le rôle de la demande mais ne semblent pas réussir à intégrer les différences de l'offre. Cela peut provenir de plusieurs points. D'abord, l'utilisation du prix des entrants plutôt que de leur coût, néglige la question de la consommation et de la productivité. Ensuite, l'introduction des capacités de production d'un pays pour représenter les effets d'agglomération peut éventuellement capter une part non négligeable de l'information dans le panel de données. Enfin, les pays ou états dans ces études sont souvent proches géographiquement et économiquement. Ainsi, il est probable que les prix du coke, du fer, du bois ou de la pâte soit proches en Europe ou à l'intérieur des Etats-Unis. C'est d'autant plus probable que les prix sont souvent calculés à partir de la valeur moyenne des importations, c'est à dire du ratio entre la valeur des importations dans un pays et la quantité importée. Il est possible que la variation pour ces paramètres ne soit pas assez grande pour estimer correctement leur influence.

	Lundmark (2001)	Lundmark (2003) <sup>62</sup>	Bergman (2002)	Beeson (1998)
Secteur étudié	Papier	Papier	Papier	Acier
Echelle géographique	16 pays européens	10 pays européens	15 pays européens	Etats américains
Echelle temporelle	1985-1995	1978-1995	1988-1997	1974-1991
Variable endogène	Investissements en augmentation de capacité (discret)	Flux d'investissements (continu)	Nombre d'investissements (discret)	Variation de capacité en % (continu)
Variables exogènes				
Conditions du marché				
Potentiel de demande	/	/	/	+0.51*
Population	/	/	Non significatif	/
PIB	0.28*	1.94*/0.89*	/	/
Variation du PIB	/	/	-*	/
Compétition interne	/	/	/	-0.47*
Compétition externe	/	/	/	-0.75*
Coûts de production				
Prix de la pâte à papier	Non significatif	-0.25*/0.05	/	/
Prix du bois	/	/	Non significatif	/
Prix du vieux papier	Non significatif	-0.19*/-0.09	Non significatif	/
Prix de l'électricité	0.53*	-0.23/0.10	Non significatif	-1.95*
Prix du fer				Non significatif
Prix de la coke				Non significatif
Réglementation environnementale	/	/	/	Non significatif
Salaires	-0.41*	-0.58*/-0.62*	-*	/
Taux d'intérêts	/	/	+	/
Effets d'agglomérations				
Capacité de production	0.54*	0.78*	+	/
Autres				
Taux de change	/	/	+	/
Procédé	/	/	/	+ pour BOF <sup>63</sup> *

**Tableau 14 : Comparaison des résultats pour les études précédentes sur les facteurs de localisation des investissements dans les industries du papier et de la sidérurgie. Pour l'étude de Bergman (2002), plus de quatre modèles sont présentés avec des coefficients différents, nous n'indiquons ici que leur signe. Le symbole \* indique une estimation significative.**

Dans notre étude de la localisation des secteurs du papier et de l'acier, l'objectif est similaire à celui de ces travaux : comparer les déterminants de la localisation. Comme dans ces travaux, des variables décrivant les conditions de la demande et les coûts de production sont introduites. Cependant, notre étude se concentre principalement sur la comparaison de l'effet des coûts de l'énergie par rapport aux autres facteurs. Pour cela, ce ne sont pas les prix de l'énergie qui sont inclus mais les coûts par tonne de production. En ce sens, en excluant le mécanisme de choix des procédés de production et

<sup>62</sup> Dans cette étude, deux méthodes sont utilisées. L'une sans effet individuel et l'autre avec ; les résultats sont présentés dans cet ordre respectif.

<sup>63</sup> BOF = Blast oxygen furnace ; haut-fourneau avec injection d'oxygène



d'amélioration de l'efficacité énergétique, seules les différences de compétitivité sur les coûts de production sont analysées. De même, nous avons préféré utiliser l'abondance des matières premières en minerai de fer, bois ou vieux papier plutôt qu'un prix calculé sur les importations. De plus, il n'a pas semblé pertinent d'introduire les effets d'agglomération tel que cela été fait dans ces études, approximés par la capacité de production dans le pays. Enfin, nous avons étendu l'échelle géographique à un plus grand nombre de pays producteurs sur tous les continents afin de prendre en compte des écarts plus importants dans les variables explicatives. Par exemple, l'écart des salaires ou du prix de la pâte est bien plus élevé entre différents continents qu'entre les pays d'un continent (Figure 110). Néanmoins, cela introduit des hétérogénéités plus fortes dans l'estimation et accentue donc éventuellement le problème des variables omises. Des effets individuels ou par régions seront utilisés pour corriger ce point.

D'un point de vue méthodologique, nous avons choisi d'étudier l'évolution annuelle des niveaux de production dans chaque pays et non les investissements. En effet, l'intérêt de ce choix réside dans la relation directe et de court-terme qui existe entre les niveaux de production et la situation compétitive d'une industrie. Le niveau de production est rapidement ajustable par une variation du taux d'utilisation des capacités de production en fonction des parts de marché, au niveau mondial, d'une industrie. Au contraire, l'utilisation des variables d'investissement introduit un biais lié au caractère agrégé de celui-ci (« lumpiness effect »), (Bergman & Johansson, 2002; Cooper et al., 1999). Cet effet se traduit par des pics soudains d'investissements pendant certaines périodes, surtout si le nombre d'usines est restreint dans un pays<sup>64</sup>. Du fait d'importants coûts fixes irrécupérables dans ces industries, la décision d'investir ou de fermer se base sur une évaluation du contexte compétitif sur plusieurs années passées ou futures (Lundmark, 2003). Comme les variations étudiées sont annuelles, il apparaît alors plus pertinent d'utiliser une variable endogène reflétant rapidement ces évolutions. De plus, l'utilisation du niveau de production comme variable expliquée simplifie les analyses économiques et statistiques en évitant la construction d'un ratio parfois arbitraire (ex. avantages comparatifs révélés). Dans les faits, l'étude des niveaux de production nationale de papier et d'acier revient à analyser l'allocation de la production entre différents pays. On utilise alors l'hypothèse que les producteurs de papier choisissent de produire dans un pays en particulier si cela maximise leur profit à court-terme (Lundmark, 2001).

### 2.3.1.3) ETUDES SPECIFIQUES SUR L'IMPACT DES COÛTS DE L'ENERGIE DANS LES INDUSTRIES IGCE

---

Peu d'études étudient spécifiquement le rôle de l'énergie dans la localisation d'une industrie. Le plus souvent ces études analysent des questions environnementales ou technologiques (voir p.125). Une des études les plus pertinentes sur ce sujet est celle de Gerlarch et Mathys (2011) qui teste le lien entre l'abondance d'énergie, les échanges internationaux et la production des industries grandes consommatrices d'énergie. Leurs travaux se basent sur 10 secteurs industriels dans 14 pays de l'OCDE entre 1970 et 1997. Leur méthode est novatrice mais réduit la compréhension économique des résultats. Elle est basée sur les travaux de Romalis (2004) qui détermine une équation reliant les parts de marchés d'un pays avec leur dotation en ressources et leur technologie de production. A partir

---

<sup>64</sup> Par exemple, trois grands haut-fourneaux sont présents dans la sidérurgie française, une remise à neuf de l'un d'entre eux entrainerait une hausse très forte de l'investissement sur une ou deux années. Aux Etats-Unis, ce problème est plus limité.

de cette équation, Gerlarch et Mathys (2011) estiment l'intensité énergétique des secteurs et l'abondance en énergie d'un pays grâce à des effets individuels spécifiques à chaque secteur et à chaque pays. Cette abondance en énergie reflète alors le prix et la facilité d'accès aux énergies pour les entreprises d'un pays. Ensuite à partir de cette mesure de l'abondance en énergie, les auteurs étudient le lien entre cette abondance et la spécialisation des exports d'un pays, la localisation des secteurs les plus intensifs en énergie et la dynamique de cette localisation. Les résultats de cette étude vont dans le sens des travaux sur les fuites de carbone (« carbon leakage »). Cela confirme que les industries plus intensives en énergie ont tendance à se localiser dans les pays avec une énergie abondante, résultant soit de ressources naturelles importantes ou soit de politiques énergétiques réduisant les prix de l'énergie (« energy haven effect »).

Cependant, cet effet n'est démontré que parmi les pays développés, appartenant à l'OCDE et non pas entre pays riches et pays en voie de développement (Gerlarch & Mathys, 2011). De plus, le modèle étudie une relation entre l'abondance d'énergie, multipliée par l'intensité énergétique, avec la localisation des secteurs, qui est commune à tous les secteurs. Cela ne tient donc pas compte des différences entre secteurs et entre énergies. Cela permet de mettre en évidence une tendance commune à l'industrie et non pas de comprendre l'effet des coûts de l'énergie sur la compétitivité d'une industrie. Notre étude se base sur deux secteurs et utilisent des données précises sur leur situation (demande, coûts de production, productivité, etc.). Le niveau de l'analyse est donc beaucoup plus précis. Cela permet de mieux intégrer la réalité économique et technique des secteurs étudiés mais cela limite la généralisation des résultats. Le but est alors de quantifier cet effet de l'énergie sur la localisation des industries grandes consommatrices d'énergie et de le comparer à d'autres facteurs de localisation.

### 2.3.2) CONSTRUCTION D'UN MODELE D'ANALYSE EN DONNEES DE PANEL SUR LES INDUSTRIES DU PAPIER ET DE L'ACIER

#### 2.3.2.1) DEFINITION DU MODELE

Afin d'étudier le poids relatif des coûts de l'énergie par rapport aux autres déterminants de la localisation dans les industries du papier et de l'acier, un modèle économétrique basé sur des données de panel est utilisé. Dans ce but, les mécanismes d'allocation de la production entre les pays sont déterminés selon plusieurs facteurs spécifiques : demande domestique, productivité et coûts de production. Les échelles géographique et temporelle sont similaires à celles de l'étude sur le modèle de gravité. Pour le papier, l'analyse intègre des données sur 32 pays producteurs de papier répartis dans le monde entre 1995 et 2006. Pour la sidérurgie, l'échelle est restreinte à 31 pays producteurs entre 1997 et 2006. Par rapport aux modèles de gravité, cette étude confirme dans un premier temps les résultats sur le rôle de l'énergie et les compare ensuite à d'autres facteurs de compétitivité.

Ce modèle en séries de temps sur plusieurs pays (« Time-Series Cross-Section », TSCS) relie avant tout le niveau de production avec la demande domestique. La déviation entre la production et la demande domestique représente le solde net des échanges commerciaux de produits papetiers et donc les parts de marché des industries papetières nationales. Le modèle TSCS agrège tous les flux bilatéraux pour un pays. Ensuite, selon le cadre du modèle d'Eaton et Kortum (2002), les coûts de

production relatifs ainsi que la productivité et les barrières à l'échange déterminent les parts de marché à l'international des industries nationales. De cette manière, ces facteurs expliquent l'écart entre la production nationale et la consommation domestique<sup>65</sup>.

Nous supposons que l'équation se présente sous une forme multiplicative. Pour l'industrie du papier, l'équation se présente sous la forme suivante, où  $P_{i,t}^{papier}$  mesure le niveau de production de produits papetiers en volume,  $C^{papier}$  la consommation domestique de papier également en volume,  $Pr^{papier}$  la productivité apparente du travail dans l'industrie du papier,  $Wt$  le niveau de formation des travailleurs dans l'industrie manufacturière,  $L^{papier}$  le salaire horaire moyen des employés de l'industrie du papier,  $Wo$  l'abondance en bois industriel,  $Wp$  l'abondance en vieux papier,  $Ip$  le prix moyen à l'importation de la pâte à papier,  $Ec^{papier}$  les coûts de l'électricité par tonne de papier produit,  $Fc^{papier}$  les coûts des combustibles par tonne de papier et  $Tf$  le niveau de liberté des échanges commerciaux :

$$P_{i,t}^{papier} = \alpha_0 * C^{\alpha_1^{papier}} * Pr^{\alpha_2^{papier}} * Wt^{\alpha_3} * L^{\alpha_4^{papier}} * Wo^{\alpha_5} * Wp^{\alpha_6} * Ip^{\alpha_7} * Ec^{\alpha_8^{papier}} * Fc^{\alpha_9^{papier}} * Tf^{\alpha_{10}} \quad (10)$$

Pour la sidérurgie, la même forme multiplicative est utilisée où  $P_{i,t}^{acier}$  mesure le niveau de production d'acier brut en volume,  $C^{acier}$  la consommation domestique d'acier brut également en volume,  $Pr^{acier}$  la productivité apparente du travail dans la sidérurgie,  $Wt$  le niveau de formation des travailleurs dans l'industrie manufacturière,  $L^{acier}$  le salaire horaire moyen des employés de l'industrie sidérurgique,  $Wi$  l'abondance en minerai de fer,  $Ws$  l'abondance en ferraille,  $En^{acier}$  les coûts de l'électricité par tonne de papier produit et  $Tf$  le niveau de liberté des échanges commerciaux :

$$P_{i,t}^{acier} = \alpha_0 * C^{\alpha_1^{acier}} * Pr^{\alpha_2^{acier}} * Wt^{\alpha_3} * L^{\alpha_4^{acier}} * Wi^{\alpha_5} * Ws^{\alpha_6} * EAF^{\alpha_7} * En^{\alpha_8^{acier}} * Tf^{\alpha_9} \quad (11)$$

### 2.3.2.2) DESCRIPTION DES VARIABLES EXPLICATIVES

Les données utilisées dans cette section sont en partie les mêmes que pour les modèles de gravité. Cependant, il n'est plus possible de comparer des différences relatives entre deux pays partenaires. Les variables du modèle TSCS sont alors exprimées par rapport à leur moyenne annuelle entre tous les pays de l'étude. L'avantage de cette méthode est de retirer la tendance temporelle des variables. Les effets de la conjoncture économique ne sont pas pris en compte (ex. crise économique). Seules les variations relatives aux autres pays sont pertinentes dans le modèle. Afin d'acquérir un avantage compétitif, ce n'est pas l'évolution d'une variable d'une année sur l'autre qui est intéressante pour une industrie nationale mais l'évolution du niveau relatif de cette variable par rapport aux autres pays. Par exemple, si les coûts de l'électricité augmentent de 5 % en un an dans un pays, on pourrait supposer une perte de compétitivité de l'industrie. Cependant, si les coûts de l'électricité ont augmenté en moyenne de 10 % dans les pays de l'étude, alors le premier pays a connu une augmentation des coûts plus faible et a donc normalement augmenté sa compétitivité.

<sup>65</sup> Dans notre modèle TSCS, nous supposons que les barrières à l'échange peuvent être approximées par une variable sur la liberté des échanges.

### i. Caractérisation de la demande

---

La variable principale pour décrire la localisation de la production est la demande domestique en produits papetiers et en acier. En effet, si les échanges internationaux de ces produits croissent rapidement depuis deux décennies, ceux-ci demeurent des produits difficiles à transporter du fait d'un poids important pour une faible valeur ajoutée. En 2006, 70 % de la production mondiale était destinée au marché local et non pas exportée, à la fois dans le papier et dans l'acier. Le niveau de consommation de ces produits dans un pays définit donc encore fortement le niveau de production dans celui-ci. Un effet important et positif de la demande domestique sur le niveau de production national serait le signe que la localisation de ces industries est orientée par la répartition de la demande. Ces industries ne seraient pas uniquement liées à la présence de matières premières abondantes et peu onéreuses. Comme présenté auparavant, la demande ou la taille du marché domestique ont régulièrement un effet positif majeur sur la localisation des industries du papier et de l'acier (Beeson & Giarratani, 1998; Lundmark, 2001; 2003).

### ii. Coûts et abondances des facteurs de production

---

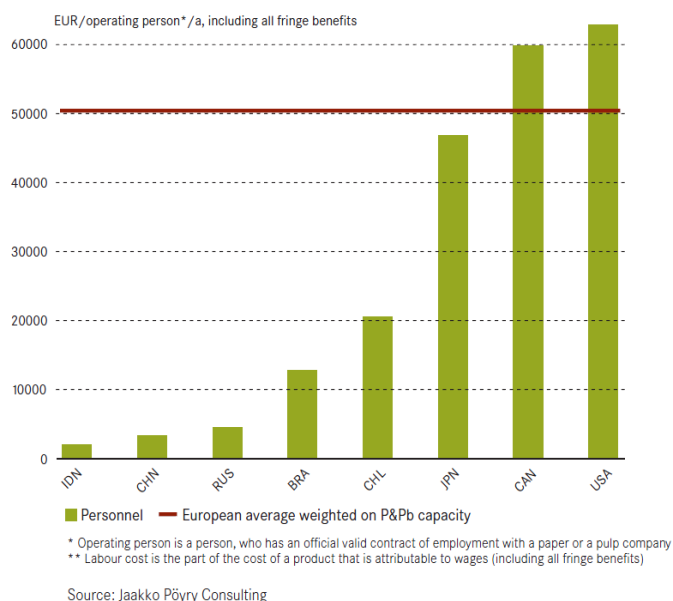
Les théories néoclassiques soulignent l'importance de l'abondance locale ou des prix faibles des facteurs de production. Les principaux déterminants des coûts de production dans les industries du papier et de l'acier sont alors ajoutés afin de décrire la compétitivité-coût des pays étudiés. Une baisse de ces coûts doit normalement augmenter la compétitivité d'un pays et donc son niveau général de production grâce à une augmentation des parts de marché.

D'abord, les coûts de la main d'œuvre représentent 14 % du coût total moyen de production pour l'industrie papetière en Europe (CEPI, 2005) et entre 4 % et 6 % dans la sidérurgie (Figures 83 et 84). des variations très fortes existent dans les coûts de la main d'œuvre entre les pays (Figure 110), des coûts faibles pour un niveau de productivité équivalent peuvent créer des avantages compétitifs très significatifs. Dans cette étude, les salaires moyens par employé dans l'industrie du papier puis dans la sidérurgie sont utilisés pour approximer ces coûts de main d'œuvre (Laborsta Internet, 2010).

Ensuite, les matières premières considérées sont différentes selon l'industrie étudiée. Il est souvent difficile d'avoir des données robustes sur le prix de ces produits dans tous les pays. Une mesure de l'abondance de ces produits est alors utilisée. On suppose que des ressources abondantes dans un pays indiquent des prix plus faibles pour les producteurs locaux. De plus, c'est l'abondance des flux de ces matières premières qui est prise en compte et non pas les stocks potentiels dans chaque pays. C'est donc la production de ces matières premières par rapport au PIB qui est utilisée comme variable pour le bois industriel, le minerai de fer et la ferraille. C'est une approche similaire à celle de B. Bonnefoi (1990) et de J. Uusivuori (2002) dans leurs travaux sur la localisation des investissements industriels. Pour le vieux papier, le taux de récupération est utilisé comme variable car plus fréquent dans les études sur l'industrie du papier. Ce taux est défini comme la production (ou récupération) de vieux papier sur la consommation de papier d'un pays. Cette mesure décrit alors la qualité du système de récupération d'un pays et donc la disponibilité de ces produits pour les industriels. De plus, nous avons considéré que les producteurs de papier pouvaient également importer directement de la pâte à papier. Pour inclure cette possibilité, une variable représentant le prix moyen de la pâte à papier importée dans chaque pays est utilisée dans l'étude sur l'industrie du papier (FAOSTAT, 2010). Les coûts de

l'énergie par tonne, pour l'électricité et les combustibles pour le papier et pour toute l'énergie agrégée dans la sidérurgie, sont inclus dans le modèle comme décrits pour les modèles de gravité (p.179). Cependant, ils sont désormais relatifs à une moyenne internationale annuelle et non plus sous la forme d'un ratio. Pour rappel, les coûts de l'énergie sont basés sur une moyenne de deux ans dans l'étude sur la sidérurgie.

**Labour Costs\*\* in Europe and in Main Competing Countries (2005)**



**Figure 110 : Comparaison des coûts de la main d'œuvre dans l'industrie du papier entre l'Europe et les principaux pays concurrents. Source : (CEPI, 2005)**

### iii. Productivité

Les écarts de productivité entre industries nationales peuvent être déterminants pour la compétitivité des pays. Cette productivité dépend du niveau d'investissement en capital et de la formation des salariés. Une forte productivité permet d'optimiser la consommation des ressources à production équivalente. D'un point de vue théorique, tel que dans le modèle de Ricardo de commerce international, les entreprises consomment les ressources de production selon le prix de marché de celles-ci (Caves & Jones, 1973). Néanmoins les entreprises ne sont jamais pleinement efficaces et des écarts importants de productivité peuvent apparaître (Blomberg, 2007). Pour une industrie nationale, une baisse de la productivité relative aux autres pays induit normalement une baisse de la compétitivité même si les ressources sont abondantes.

Notamment, les industries du papier et de l'acier sont caractérisées par des choix technologiques dits « putty-clay » ; l'efficacité technologique des procédés est déterminée lors de la décision d'investissement. Ce choix technologique devient ensuite difficilement ajustable par la suite. Par exemple, si le choix d'un procédé de production semble optimal en fonction des prix de l'énergie à un instant  $t$ , celui-ci sera fixe pendant une longue période d'une ou plusieurs décennies. Si les conditions du marché énergétique évoluent, il est alors probable que ce choix de procédé ne soit plus optimal. La

productivité est alors réduite par rapport à des installations plus récentes. Or, il existe des écarts importants dans l'âge des équipements dans les usines de papier et d'acier. Ainsi, dans le cas du papier, les machines les plus récentes se trouvent en Chine, en Europe du Nord. A l'inverse, les machines les plus anciennes se situent au Japon, en Europe de l'Est et en Amérique du Nord (Diesen, 2007). Dès lors, même si les technologies de production sont fortement standardisées dans les industries du papier et de l'acier et disponibles globalement du fait de la présence de fournisseurs internationaux (Berglund & Söderholm, 2003), des différences dans la qualité des équipements existent et dépendent plus de l'âge technique des usines que de l'innovation<sup>66</sup>.

Dans le but d'évaluer ces différences de productivité entre pays, deux variables sont utilisées. L'une mesure la productivité apparente du travail pour l'industrie du papier et pour la sidérurgie (en tonne produite par employé par an). L'autre évalue le niveau de formation des employés dans l'industrie d'un pays en s'appuyant sur différents critères de comparaison tels que la qualité de la formation professionnelle des adultes, l'ouverture au personnel d'encadrement étranger et l'accueil de cadres étrangers dans les entreprises (De Crombrugghe et al., 2009).

#### iv. Ouverture du marché

---

La compétitivité internationale d'un pays peut également dépendre de la présence de fortes barrières à l'échange, isolant l'industrie domestique de la compétition internationale. Afin de prendre en compte ce facteur qui pourrait fausser les résultats dans certains pays, une variable mesurant le niveau de liberté des échanges dans chaque pays est introduit. Cette mesure a été établie par JD. Gwartney et al. (2010) comme une évaluation moyenne des barrières à l'échange de biens, des tarifs douaniers, de la taille du commerce international dans l'économie, des restrictions sur les investissements étrangers et de l'ouverture aux marchés des capitaux internationaux.

#### 2.3.2.3) DESCRIPTIONS STATISTIQUES DES DONNEES

---

Les tableaux suivants décrivent statistiquement les variables utilisées dans le modèle TSCS (Tableaux 15 et 16). Toutes les variables sont présentées relativement à leur moyenne annuelle entre les pays. Dans l'industrie du papier, la production moyenne de papier a été de 9.6 millions de tonnes par an. Cette moyenne a augmenté de 31 % entre 1995 et 2006. Dans la sidérurgie, sur une période de temps plus courte de 1998 à 2006, l'augmentation de la production moyenne a été de 62 %. La moyenne de production sur la période dans un pays s'élève à environ 27 000 kt.

Les salaires horaires sont légèrement plus élevés dans la sidérurgie que dans l'industrie du papier<sup>67</sup>. Dans ces deux industries, les salaires ont augmenté plus lentement que la productivité apparente du travail (respectivement de 15 % et 39 % pour le papier, et respectivement 12 % et 34 % dans l'acier). Par rapport aux matières premières, dans l'industrie du papier, l'abondance de bois industriel a

---

<sup>66</sup> Il peut exister une innovation plus importante dans ces industries au niveau des produits ou de l'organisation mais comme les principales entreprises sont multinationales, ces innovations sont implémentées sur tous pays où ces firmes sont présentes.

<sup>67</sup> Néanmoins la période de temps prise en compte n'est pas exactement la même. Les années les plus anciennes ne sont pas présentes dans l'étude sur l'acier.

diminué de 21 %<sup>68</sup>, alors que le taux de récupération du vieux papier a augmenté de 34 %. Ainsi, dans le papier, l'augmentation des salaires a été compensée par une meilleure productivité apparente et la réduction en abondance de bois a été contrebalancée par une augmentation des ressources en vieux papier. Dans la sidérurgie, l'abondance de ressources a été à peu près stable durant la période de l'étude avec une hausse de 3.5 % pour le minerai de fer et une baisse 6.6 % pour la ferraille.

Variable		Description	Source	Moy. (Moy. Absolue)	Ecart type	Min.	Max.
<b>Production de papier</b>	P	Production de produits papetiers en volume (kt)	FAOSTAT	1 (9650)	1.70	0.03	10.11
<b>Consommation domestique</b>	C	Consommation de produits papetiers en volume (kt)	FAOSTAT	1 (9293)	1.90	0.03	11.18
<b>Salaires horaires</b>	L	Salaire horaire moyen des employés dans l'industrie du papier (\$/heure) (2005\$)	Laborsta	1 (9.71)	0.81	0.01	3.01
<b>Productivité</b>	Pr	Productivité apparente du travail. Production annuelle de papier en volume divisée par le nombre d'employés dans l'industrie du papier (t/employé)	Laborsta (emploi) FAOSTAT (production)	1 (104)	0.73	0.13	3.52
<b>Abondance de bois</b>	Wo	Production de bois industriel divisée par le PIB (m <sup>3</sup> /1,000,000\$)	FAOSTAT (production) Enerdata (GDP)	1 (70.9)	1.11	0.02	4.36
<b>Abondance de vieux papier</b>	Wp	Taux de récupération du vieux papier divisé par la consommation nationale de papier (%)	FAOSTAT	1 (0.41)	0.40	0.10	2.21
<b>Prix d'importation de la pâte</b>	Ip	Prix moyen de la pâte à papier importée dans un pays (\$2005/t)	FAOSTAT	1 (533)	0.12	0.57	1.47
<b>Coûts de l'électricité</b>	Ec	Coûts de l'électricité par tonne de papier produite (2005\$/t)	Enerdata	1 (87)	0.66	0.14	4.46
<b>Coûts des combustibles</b>	Fc	Coûts des combustibles par tonne de papier produite (2005\$/t)	Enerdata	1 (26.9)	0.60	0.08	2.82
<b>Niveau de formation des salariés</b>	Wt	Evaluation moyenne de la formation des salariés, de l'ouverture aux cadres étrangers et du niveau d'encadrement du personnel technique. (max. = 4)	Institutional Profiles Database	1 (2.83)	0.24	0.49	1.41
<b>Liberté des échanges</b>	Tf	Evaluation de la liberté des échanges commerciaux internationaux (max. = 10)	Economic Freedom of the World database	1 (7.32)	0.11	0.65	1.21

**Tableau 15 : Description statistique des variables du modèle sur l'industrie du papier. Ces statistiques sont exprimées relativement à la moyenne annuelle internationale. Le nombre d'observation pour chaque pays est de T = 12. Cela donne un total de 384 observations.**

<sup>68</sup> L'abondance est mesurée dans cette étude comme un flux (en production) par rapport à la taille économique du pays (en PIB). Une baisse de l'abondance ne signifie donc pas forcément une baisse de la production.



Variable		Description	Source	Moy. (Moy. Absolue)	Ecart type	Min.	Max.
Production d'acier	P	Production d'acier brut en volume (kt)	WorldSteel	1 (27315)	1.61	0	11.93
Consommation domestique	C	Consommation d'acier brut en volume (kt)	WorldSteel	1 (26523)	1.72	0.06	11.48
Salaires horaires	L	Salaire horaire moyen des employés dans l'industrie du papier (\$/heure) (2005\$)	Laborsta	1 (11.87)	0.77	0.01	2.95
Productivité	Pr	Productivité apparente du travail. Production annuelle d'acier brut en volume divisée par le nombre d'employés dans la sidérurgie (t/employé)	Laborsta (emploi) WorldSteel (production)	1 (288.8)	0.57	0.16	2.70
Abondance de minerai de fer	Wo	Production minerai de fer divisée par le PIB (t/1,000,000\$)	WorldSteel (production) Enerdata (GDP)	1 (0.027)	1.90	0	8.30
Abondance de ferraille	Wp	Production de ferraille divisée par le PIB (t/1,000,000\$)	WorldSteel	1 (0.013)	0.97	0.01	4.7
Répartition des fours électriques	Ip	Pourcentage de la production d'acier brut réalisée par les fours électriques (%)	WorldSteel	1 (0.40)	0.65	0	2.59
Coûts de l'énergie	Ec	Coûts de l'énergie par tonne de papier produite (2005\$/t)	Enerdata	1 (111.8)	0.57	0.43	3.75
Niveau de formation des salariés	Wt	Evaluation moyenne de la formation des salariés, de l'ouverture aux cadres étrangers et du niveau d'encadrement du personnel technique. (max. = 4)	Institutional Profiles Database	1 (2.83)	0.25	0.49	1.41
Liberté des échanges	Tf	Evaluation de la liberté des échanges commerciaux internationaux (max. = 10)	Economic Freedom of the World database	1 (7.41)	0.10	0.70	1.19

**Tableau 16 : Description statistique des variables du modèle sur la sidérurgie. Ces statistiques sont exprimées relativement à la moyenne annuelle internationale. Le nombre d'observation pour chaque pays est de T = 9. Cela donne un total de 275 observations<sup>69</sup>.**

#### 2.3.2.4) METHODES D'ESTIMATION DU MODELE SUR LA PRODUCTION

Pour ce modèle sur la localisation de la production entre les pays, trois méthodes différentes, adaptées aux données en « Time-Series Cross-Section » (TSCS), sont utilisées. Chacune de ces méthodes se base sur un modèle à effets fixes temporels<sup>70</sup>. Les événements temporels liés à la situation économique internationale sont ainsi éliminés (Berglund & Söderholm, 2003). Un test de Wooldridge sur l'autocorrélation dans les données de panel<sup>71</sup> (Drukker, 2003; Wooldridge, 2002) et un test modifié de Wald pour l'hétéroscédasticité de groupe dans les modèles à effets fixes<sup>72</sup> (Baum, 2000) concluent sur la présence d'autocorrélation de premier ordre et d'hétéroscédasticité. Le problème de corrélation contemporaine<sup>73</sup> a également été testé et confirmé avec un test de Pesaran CD et un test de Frees (De Hoyos & Sarafidis, 2006). Cela indique que les erreurs résiduelles sont corrélées entre les pays.

<sup>69</sup> Dans le cas du Danemark, la production d'acier s'est arrêtée au cours de 2002. Les années suivantes pour ce pays n'ont pas été prises en compte dans le modèle économétrique.

<sup>70</sup> Plus précisément, dans le logiciel STATA, un modèle Least Square Dummy Variable (LSDV) est utilisé.

<sup>71</sup> Wooldridge test for autocorrelation in panel data

<sup>72</sup> Modified Wald test for groupwise heteroskedasticity in fixed effects regression models.

<sup>73</sup> Contemporaneous correlation. Pour ce test, la commande xtscd a été utilisée dans Stata v11.

Les méthodes habituelles pour les données de panel ne sont pas appropriées quand ces trois sources de biais sont présentes (Marques & Fuinhas, 2012). En conséquence, une méthode fréquente dans les études de science politique utilisant ce type de données est utilisée afin de corriger ces problèmes ; la méthode de panel avec des écarts types corrigés<sup>74</sup> (panel-corrected standard error, PCSE), (Beck & Katz, 1995; Podestà, 2000). Cette méthode permet de prendre en compte ces problèmes d'hétéroscédasticité, de corrélations temporelle et contemporaine entre les pays<sup>75</sup>. Une autocorrélation avec un procédé AR(1) commun à tous les pays est supposée dans cette étude.

Pour les trois méthodes, le modèle est sous une forme multiplicative. En log-linéarisant cette équation, on obtient les équations économétriques suivantes où  $\varepsilon_{i,t}$  représente le terme d'erreur. La première équation est utilisée pour l'industrie du papier et la seconde pour la sidérurgie<sup>76</sup> :

$$\ln P_{i,t}^{papier} = \alpha_0 + \alpha_1 * \ln C^{papier} + \alpha_2 * \ln Pr^{papier} + \alpha_3 * \ln Wt + \alpha_4 * \ln L^{papier} + \alpha_5 * Wo + \alpha_6 * \ln Wp + \alpha_7 * \ln Ip + \alpha_8 * \ln Ec^{papier} + \alpha_9 * \ln Fc^{papier} + \alpha_{10} * \ln Tf + \varepsilon_{i,t} \quad (12)$$

$$\ln P_{i,t}^{acier} = \alpha_0 + \alpha_1 * \ln C^{acier} + \alpha_2 * \ln Pr^{acier} + \alpha_3 * \ln Wt + \alpha_4 * \ln L^{acier} + \alpha_5 * Wi + \alpha_6 * \ln Ws + \alpha_7 * \ln EAF + \alpha_8 * \ln En^{acier} + \alpha_9 * \ln Tf + \varepsilon_{i,t} \quad (13)$$

Les trois modèles diffèrent ensuite dans la manière dont les effets fixes pour les pays sont inclus<sup>77</sup>. Les effets fixes par pays corrigent des variations entre pays non expliquées par des variables du modèle. Cependant, l'addition d'une constante pour chaque pays supprime l'information sur les variations entre pays, ne laissant l'information que sur les changements à l'intérieur des pays dans le court-terme. Cette approche ne permet donc pas d'identifier les facteurs qui déterminent les niveaux relatifs de compétitivité entre pays, mais de comprendre comment les changements dans les variables explicatives affectent la production à partir d'un niveau de base prédéterminé pour chaque pays. Or comme les variations entre les pays sont bien plus élevées que celles à l'intérieur du pays, dans le cas de l'étude, l'approche avec des effets fixes par pays n'explique pas pleinement les avantages comparatifs des industries nationales du papier<sup>78</sup>. « *If the theory predicts an influence of the level of an exogenous variable on changes in the endogenous variable, unit fixed effects must not be included. It is most important to note that unit dummies already bias estimates if at least one exogenous variable exerts a persistent level effect on the dependent variable. However, most researchers add unit*

<sup>74</sup> La méthode des moindres carrées généralisées réalisables (feasible generalized least square, FGLS) qui peut également être utilisée pour corriger de l'autocorrélation, de la corrélation contemporaine et de l'hétéroscédasticité, ne peut pas être utilisée dans cette situation car le nombre d'années est inférieur à celui des pays ( $T < N$ ).

<sup>75</sup> De nombreux travaux ont également utilisé cette méthode PCSE dans une configuration similaire dans laquelle la période de temps est assez longue pour que les problèmes d'autocorrélation soient conséquents. Par exemple, la méthode PCSE a été mise en œuvre dans les études suivantes avec un nombre à peu près similaire de périodes de temps et de groupes : (Bjornskov et al., 2010), (Halleberg et al., 2007), (Li & Resnick, 2003), (Jamasp et al., 2008), (Marques & Fuinhas, 2012).

<sup>76</sup> Les termes des deux équations sont explicités p.109.

<sup>77</sup> Un test de Hausman sur les effets individuels aléatoires a été effectué et rejette les effets aléatoires en faveur des effets fixes.

<sup>78</sup> Par exemple, l'abondance en bois ne varie pas significativement dans un pays durant les douze années de l'étude. Dans un modèle avec des effets fixes par pays, les variations à l'intérieur des pays sont probablement trop faibles pour qu'une estimation statistique soit possible. L'effet de l'abondance en bois est inclus dans les constantes.

*dummies on an ad hoc basis because they know of the existence of a standard procedure, but not what this procedure does to the data. As a consequence, regression analyses often do not test the theory researchers claim to test* » (Plümber et al., 2005, p.348). Dans des travaux précédents sur les industries du papier et de l'acier, ce problème a déjà été identifié. Des lors, seuls les effets fixes temporels ont été utilisés<sup>79</sup> (Berglund & Söderholm, 2003; Lundmark, 2003; Uusivuori & Tervo, 2002).

Ainsi, dans cette étude, les résultats sont d'abord présentés pour un modèle sans effet fixe par pays, T-FE. Dans ce modèle, le terme d'erreur se présente sous la forme suivante où  $\lambda_t$  est une constante annuelle invariante entre les pays et  $v_{i,t}$  est le terme d'incertitude stochastique des résidus :

$$\varepsilon_{i,t} = \lambda_t + v_{i,t} \quad (14)$$

Un autre modèle, C-FE, est également étudié et inclus des effets fixes à la fois temporels et par pays. Le terme résiduel est alors sous la forme suivante où  $\mu_i$  est une constante invariante dans le temps pour chaque pays :

$$\varepsilon_{i,t} = \lambda_t + \mu_i + v_{i,t} \quad (15)$$

Uusivuori et Tervo (2002) décrivent ces deux approches comme d'abord un modèle sans effet fixe par pays sur comment les différences entre pays déterminent le niveau de compétitivité entre les pays et un second modèle, avec des effets fixes par pays, sur comment cette compétitivité évolue dans le temps avec la variation des déterminants explicatifs. Nous utiliserons cette définition dans l'analyse des résultats, utilisant les résultats à la fois des modèles avec et sans effets fixes.

De plus, une troisième spécification combinant en partie les deux précédentes est introduite dans cette étude ; R-FE. Mais au lieu d'utiliser des effets fixes par pays, des constantes distinguant les pays de l'étude en sept zones géographiques et économiques sont introduites<sup>80</sup>. L'objectif est de prendre en compte l'omission potentielle de variables explicatives dans des régions économiques homogènes sans supprimer toute les variations entre les pays. En effet, comme les marchés des industries du papier et de l'acier sont encore fortement concentrés à l'échelle continentale, ces effets fixes régionaux intègrent les différences de compétition entre les principaux marchés internationaux. Le terme d'erreur est sous la même forme que dans l'équation 14, mais avec des constantes régionales supplémentaires.

<sup>79</sup> Berglund et Söderholm justifient ce choix de la manière suivante : « Baltagi and Griffin (1984) suggest that if the variation between countries greatly exceeds the within variation, then ordinary least square (OLS) with common intercept as well as slope coefficients becomes the preferred estimator » (Berglund and Söderholm, 2002). Lundmark explique que « the country fixed effect approach would reveal very little about how firms choose among countries when making investment decisions » (Lundmark, 2003).

<sup>80</sup> Europe de l'Ouest, Scandinavie, Europe de l'Est, Amérique du Nord, Amérique Latine, Asie et appartenance à l'OCDE.

### 2.3.3) RESULTATS : L'ENERGIE N'EST PAS LE PRINCIPAL DETERMINANT DE LA LOCALISATION DE LA PRODUCTION DES INDUSTRIES DU PAPIER ET DE L'ACIER

Les résultats de l'étude démontrent que la localisation de la production des industries du papier et de l'acier reste encore fortement liée à la demande locale. Malgré la hausse constante des échanges internationaux, la production dépend principalement de la proximité des acheteurs. La baisse du coût des transports ces dernières années n'a pas complètement annulé les barrières à l'échange pour ces produits. La productivité et le niveau des salaires jouent également un rôle déterminant dans ces deux secteurs. Les différences de productivité reflètent souvent des écarts d'investissements significatifs dans les industries nationales et minimisent de possibles avantages compétitifs sur les coûts. De plus, bien que ces deux secteurs soient considérés comme peu intensifs en main d'œuvre, les écarts très importants de salaire entre les pays émergents et les pays développés impliquent des effets notables sur la compétitivité industrielle. Parmi ces facteurs, l'étude confirme l'effet significatif des coûts de l'énergie sur la localisation de la production. Dans les industries du papier et de la sidérurgie, des coûts élevés de l'énergie diminuent les parts de marché d'une industrie nationale. Néanmoins, l'impact de l'énergie demeure modéré face à d'autres facteurs tels que la demande, la productivité et les salaires. Une industrie nationale peut être désavantagée par des coûts de l'énergie élevés mais sa compétitivité n'est pas mise en danger uniquement du fait de l'énergie.

#### 2.3.3.1) RESULTATS DE L'ESTIMATION ECONOMETRIQUE

L'interprétation des coefficients estimés est peu habituelle dans le sens où des variables relatives à une moyenne ont été utilisées. En effet, si une variable  $i$  augmente de 1 % dans un pays par rapport à la moyenne annuelle internationale de celle-ci, il est estimé que le niveau de production de ce pays variera de  $\alpha_i$  % par rapport à la moyenne internationale de la production par pays.

Les tableaux 17 et 18 présentent l'estimation des paramètres pour chacune des trois spécifications introduites ci-dessus. Pour l'industrie du papier, dans les modèles T-FE et R-FE, toutes les variables sont statistiquement significatives à 5 %, à l'exception des prix de la pâte à papier importée. Une différence cruciale existe alors avec la sidérurgie, pour laquelle les variables liées aux ressources naturelles ne sont pas significatives. L'industrie du papier est donc plus fortement liée à la présence locale de ressources naturelles en bois et vieux papier que ne l'est la sidérurgie. Dans l'ensemble, les résultats pour les modèles T-FE et R-FE sont comparables. Les possibles différences sont à interpréter en termes d'homogénéité des variables au niveau des zones géographiques et économiques. Une variable significative dans le modèle T-FE et non pas dans le modèle R-FE, comme l'abondance de ferraille dans la sidérurgie, reflète une homogénéité de cette variable au niveau d'une zone et une hétérogénéité entre ces zones. Par exemple, l'abondance de ferraille est à peu près similaire entre les pays des sept zones distinguées mais est très différente selon ces zones.

Pour les modèles C-FE, les paramètres ont les mêmes signes que dans les autres modèles mais diffèrent dans le niveau du coefficient. Les coefficients de plusieurs variables explicatives ne sont plus significatifs dans les modèles C-FE. Cet écart avec les autres modèles provient essentiellement du fait

d'une variation beaucoup plus importante de ces variables entre les pays que dans un pays au cours du temps, principalement pour les salaires et l'abondance de matières premières<sup>81</sup>.

Pour une évaluation générale de ces modèles, le test de Wald confirme la significativité jointe des variables pour tous les modèles. Le coefficient de détermination  $R^2$  est élevé dans tous les modèles, plus particulièrement pour les modèles C-FE. Il faut néanmoins être prudent dans l'interprétation de ce coefficient car les constantes par années et par pays augmentent artificiellement celui-ci. Ainsi, dans les modèles C-FE, comme la plupart de la variation a lieu entre les pays, l'utilisation de constante par pays capture la grande majorité des variations dans les données. Ce coefficient n'est donc pas comparable entre les différentes spécifications. Néanmoins, même sans effet fixe par région ou par pays, ce coefficient demeure élevé (environ 0.9). Une grande partie des variations de production entre les pays et au cours des années est bien estimée par le modèle économétrique même sans effet fixe par pays (Figures 111 et 112).

<i>Variable expliquée:</i> <b>Production nationale de papier</b>	<i>Effets fixes pour le temps (T-FE)</i>	<i>Effets fixes pour les régions et le temps (R-FE)</i>	<i>Effets fixes pour les pays et le temps (C-FE)</i>
<i>Constante</i>	0.771*** (0.031)	0.257*** (0.086)	0.086 (0.060)
<i>Consommation domestique</i>	0.958*** (0.017)	0.914*** (0.031)	0.385*** (0.048)
<i>Productivité</i>	0.451*** (0.054)	0.165*** (0.040)	0.212*** (0.029)
<i>Formation des salariés</i>	0.304*** (0.076)	0.178** (0.084)	0.395*** (0.066)
<i>Salaires</i>	-0.089*** (0.025)	-0.079*** (0.030)	0.015 (0.033)
<i>Abondance de bois</i>	0.171*** (0.012)	0.132*** (0.018)	-0.010 (0.034)
<i>Abondance de vieux papier</i>	0.169*** (0.045)	0.157*** (0.041)	0.060*** (0.030)
<i>Prix de la pâte importée</i>	-0.092 (0.083)	0.006 (0.043)	0.016 (0.037)
<i>Coûts de l'électricité</i>	-0.075*** (0.024)	-0.061*** (0.021)	-0.137*** (0.024)
<i>Coûts des combustibles</i>	-0.101*** (0.026)	-0.087*** (0.021)	-0.026* (0.0152)
<i>Liberté des échanges commerciaux</i>	-0.315** (0.157)	-0.273** (0.124)	0.036 (0.101)
<i>Effets fixes temporels</i>	Oui	Oui	Oui
<i>Effets fixes par zone géographique</i>	Non	Oui	Non
<i>Effets fixes par pays</i>	Non	Non	Oui
<i>N</i>	384	384	384
<i>R<sup>2</sup> ajusté</i>	0.899	0.934	0.993

Ecart type entre parenthèse, \*  $p < 0.10$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*\*\*  $p < 0.01$

**Tableau 17 : Résultats du modèle TSCS sur la production nationale de papier**

<sup>81</sup> Par exemple, dans l'industrie du papier, l'écart-type entre les pays pour une moyenne relative de 1, est de 0.81 alors qu'il n'est que de 0.056 pour les variations entre les années des pays. De même, ces écarts-types sont de 1.11 et 0.166 respectivement pour l'abondance de bois.

Variable expliquée: <b>Production nationale d'acier brut</b>	Effets fixes pour le temps (T-FE)	Effets fixes pour les régions et le temps (R-FE)	Effets fixes pour les pays et le temps (C-FE)
Constante	-0.037 (0.050)	0.081 (0.108)	-0.248** (0.096)
Consommation domestique	0.910*** (0.025)	0.961*** (0.034)	0.255*** (0.042)
Productivité	0.403*** (0.075)	0.492*** (0.065)	0.448*** (0.062)
Formation des salariés	0.176 (0.181)	0.361 (0.238)	0.690*** (0.094)
Salaires	-0.094** (0.043)	-0.237*** (0.068)	-0.050 (0.036)
Abondance de minerai de fer	0.013* (0.007)	0.019* (0.010)	0.001 (0.016)
Abondance de ferraille	0.152*** (0.046)	0.084* (0.047)	0.005 (0.017)
Pourcentage de fours électriques	-0.198*** (0.025)	-0.159*** (0.024)	-0.027 (0.041)
Coûts de l'énergie	-0.243*** (0.094)	-0.335*** (0.100)	-0.204*** (0.045)
Liberté des échanges commerciaux	-0.563** (0.255)	-1.215*** (0.303)	0.045 (0.156)
Effets fixes temporels	Oui	Oui	Oui
Effets fixes par zone géographique	Non	Oui	Non
Effets fixes par pays	Non	Non	Oui
N	275	275	275
R <sup>2</sup> ajusté	0.889	0.921	0.994

Ecart type entre parenthèse, \* p<0.10, \*\* p<0.05, \*\*\* p<0.01

**Tableau 18 : Résultats du modèle TSCS sur la production nationale d'acier brut**

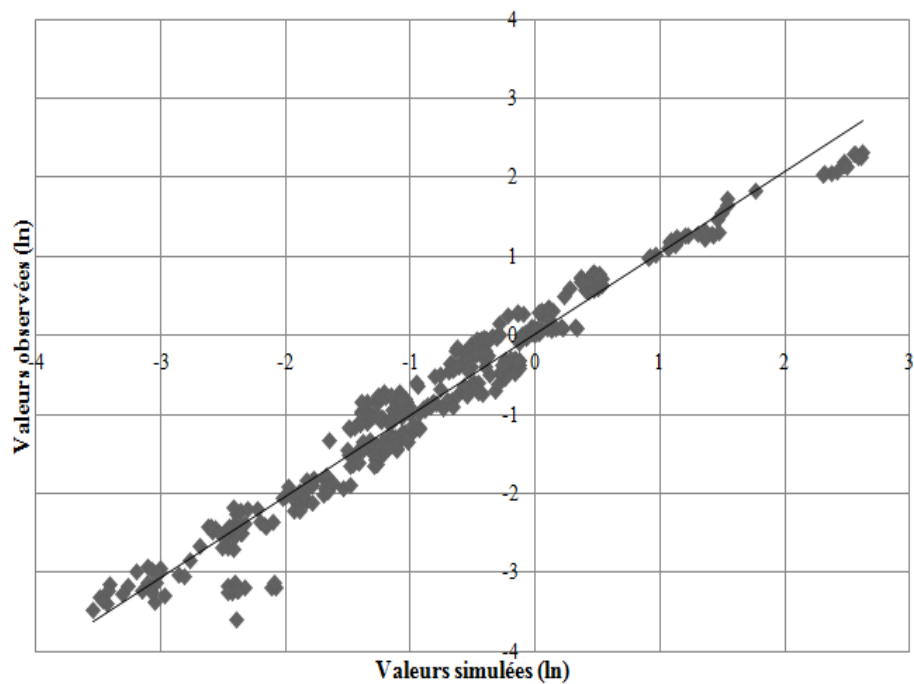


Figure 111 : Corrélation entre les valeurs observées et simulées par le modèle R-FE pour la production de papier (en logarithme)

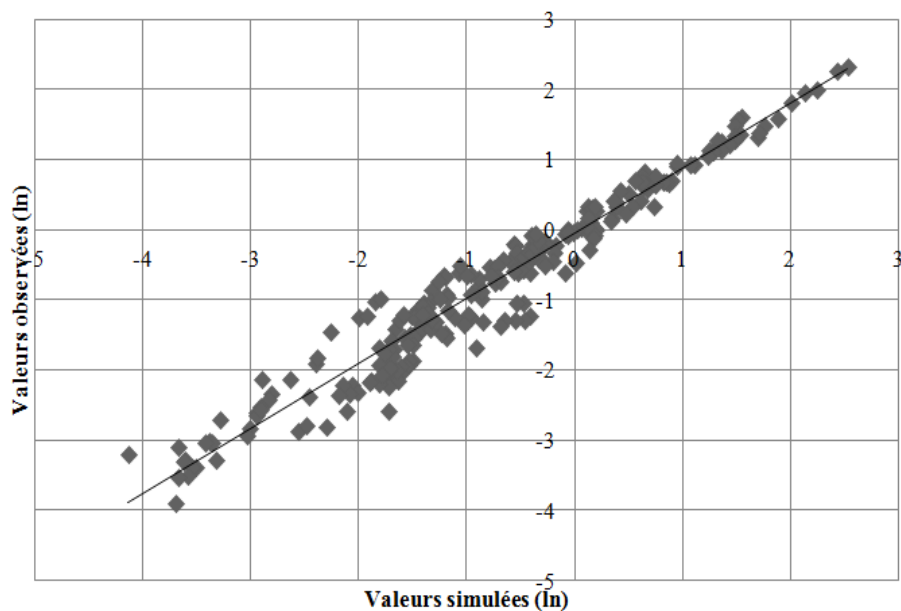


Figure 112 : Corrélation entre les valeurs observées et simulées par le modèle R-FE pour la production d'acier brut (en logarithme)



---

*i. Des industries fortement liées à la demande domestique*

---

La taille du marché domestique est un déterminant majeur de la localisation de la production d'acier et de papier. Malgré une hausse des échanges internationaux dans ces produits, la production dans un pays est fortement corrélée au niveau de consommation nationale et à son évolution dans le temps. La localisation de ces industries est orientée par la répartition de la demande. Cela confirme donc les résultats de la littérature sur la localisation des investissements (Beeson & Giarratani, 1998; Lundmark, 2001; 2003).

Pour l'industrie du papier, une consommation en papier supérieure de 1 % dans un pays par rapport à la moyenne internationale implique une production supérieure de 0.91 % par rapport également à la moyenne des pays de l'échantillon<sup>82</sup> (R-FE, IC.75 = [0.88 ; 0.95]). Dans le modèle C-FE, avec des effets fixes par pays, seules les variations à l'intérieur des pays dans le temps sont analysées. On estime alors qu'une hausse de 1 % de la consommation en papier par rapport à la moyenne d'un pays augmente de 0.38 % le niveau de la production par rapport au niveau moyen du pays (C-FE, IC.75 = [0.33 ; 0.44]). L'effet de la consommation domestique sur la production est plus fort dans la détermination des écarts entre pays que dans l'évolution temporelle. Les estimations du modèle R-FE permettent de définir le niveau de production d'un pays au sein d'une zone géographique. Alors que les estimations du modèle C-FE se concentrent, avec plus de précision<sup>83</sup>, uniquement sur l'évolution temporelle et ne permettent donc pas d'expliquer les déterminants de l'écart entre les pays. Les coefficients ne sont donc pas directement comparables entre les modèles R-FE et C-FE.

Dans la sidérurgie, l'effet de la consommation domestique est également majeur sur les choix d'allocation de la production entre les différents pays. Les coefficients estimés pour cette variable sont d'ailleurs du même ordre de grandeur que pour l'industrie du papier. Une consommation d'acier brut supérieure de 1 % dans un pays par rapport à la moyenne internationale implique une production supérieure de 0.96 % (R-FE, IC.75 = [0.92 ; 1.00]). La relation entre la production et la consommation d'acier est quasiment linéaire. Avec le modèle C-FE, une hausse de 1 % de la consommation en acier par rapport à la moyenne d'un pays augmente de 0.26 % le niveau de production par rapport au niveau moyen du pays (IC.75 = [0.21 ; 0.30]).

---

*ii. Les matières premières : Des effets très différents selon les industries*

---

L'abondance des matières premières nécessaires à la production est un facteur important de la localisation de l'industrie papetière mais reste peu influente dans la sidérurgie. Il existe donc une différence majeure entre ces deux industries quant à l'avantage d'un accès à des ressources locales. L'industrie du papier est fortement localisée dans les pays avec des flux importants en production de bois industriel et de vieux papier. Néanmoins, le prix d'importation de la pâte à papier n'apparaît pas comme significatif. A l'inverse, la production d'acier est faiblement liée à la présence de minerai de fer ou de ferraille. Ces différences dans l'importance des ressources locales peuvent s'expliquer par des échanges internationaux plus intenses pour le minerai de fer et la ferraille que pour les ressources de l'industrie du papier.

---

<sup>82</sup> Toutes variables étant égales par ailleurs.

<sup>83</sup> Correction de possibles biais liés à l'omission de variable ayant un impact sur la variable endogène et étant corrélées avec au moins une des variables exogènes.

Ainsi, une production annuelle de bois industrielle, relativement à la taille économique du pays (PIB), supérieure de 1 % à la moyenne internationale procure un avantage comparatif à une industrie nationale du papier qui se traduit par une production supérieure à la moyenne internationale d'environ 0.13 % (R-FE, IC.75 = [0.11 ; 0.15]). C'est-à-dire que pour une consommation domestique donnée, la production de papier augmente dans un pays si celui-ci possède des ressources importantes en bois industriel. Cela confirme les arguments du CEPI<sup>84</sup> (2006, p.3) qui place les ressources en bois dans les dix premiers facteurs de compétitivité de l'industrie du papier (de manière qualitative) : « *Europe is at high end in terms of wood costs and this is unlikely to change. Faster growing plantations in Latin America and Southeast Asia, along with sources in Russia, represent competing wood supply regions with significant potential for increasing supply at lower wood cost* ». Cependant l'effet de l'abondance de bois n'est pas significatif dans le modèle avec des effets fixes par pays (C-FE). Cela provient très probablement de la stabilité importante des niveaux de production de bois entre 1995 et 2006. Les variations pour cette variable existent principalement entre les pays.

Pour le vieux papier, l'effet sur la compétitivité est également très significatif à la fois dans la détermination du niveau de production de papier d'un pays et également dans son évolution dans le temps. Un taux de récupération supérieur de 1 % par rapport à la moyenne internationale implique selon l'estimation une localisation de la production de papier supérieure d'environ 0.16 % à la moyenne internationale (R-FE, IC.75 = [0.11 ; 0.20]). Selon le modèle C-FE, une hausse de 1 % du taux de récupération de vieux papier entraîne une hausse de 0.06 % de la production par rapport au niveau moyen du pays (C-FE, IC.75 = [0.03 ; 0.09]). Cela confirme également le rôle du vieux papier énoncé par le rapport du CEPI. On peut noter que si l'abondance en vieux papier est également significatif dans le modèle à effets fixes par pays, au contraire du bois, c'est que le taux de récupération a fortement évolué entre 1995 et 2006 : « *The massive increase in paper collection and recycling has been mainly driven by the European paper industry with average collection rates at 59 % in 2004 – considerably higher than Asia or North America* » (CEPI, 2005, p.3). L'importance du vieux papier comme ressource locale profite aux pays fortement urbanisés et favorise l'application de politiques de récupération du vieux papier.

Les autres ressources premières, la pâte à papier importée pour l'industrie du papier, le minerai de fer et la ferraille ne sont pas ou peu significatifs dans la localisation de la production de papier et d'acier dans le monde. Pour l'abondance de minerai de fer, seul le modèle R-FE fournit un résultat faiblement significatif. Une abondance de minerai de fer supérieure de 1 % dans un pays entrainerait une production d'acier brut supérieure de 0.019 %. C'est donc un effet très faible et incertain. Pour l'abondance de minerai, l'incertitude est également importante dans l'estimation du coefficient. Une abondance de ferraille supérieure de 1 % dans un pays implique une production supérieure de 0.084 % par rapport à la moyenne internationale. Le modèle T-FE procure un résultat positif et significatif pour la ferraille mais non pas pour le minerai de fer. Ces variables ne sont pas significatives dans le modèle C-FE.

---

<sup>84</sup> Confederation of European Paper Industries

### iii. L'enjeu des salaires au niveau international

---

Les salaires des employés ont des effets importants sur les industries du papier et de l'acier. Cet effet est d'autant plus marqué par l'existence d'écarts majeurs dans les salaires entre les pays de l'étude (ex. Figure 110). Malgré le fait que ces industries ne soient pas caractérisées comme intensives en main d'œuvre, les asymétries dans le niveau des salaires jouent un rôle majeur sur la répartition des avantages compétitifs entre pays. Néanmoins, pour les deux secteurs, les salaires ne semblent pas avoir d'effet sur l'évolution au cours du temps de la compétitivité des pays, l'écart de salaire étant bien plus fort entre les pays.

Dans l'industrie du papier, des salaires horaires supérieurs de 1 % à la moyenne internationale diminuent la production d'un pays d'environ 0.08 % (R-FE, IC.75 = [-0.11 ; -0.04]). Ce coefficient est très proche de celui obtenu pour le modèle T-FE. Là encore, le salaire de la main d'œuvre comme facteur de compétitivité est conforme aux propos du rapport du CEPI (2006). Néanmoins, les salaires ne sont pas significatifs dans le modèle C-FE. Similairement à l'abondance de bois, les variations des salaires à l'intérieur des pays sont beaucoup plus restreintes que les variations entre pays. Ces faibles niveaux de variations ne permettent pas d'expliquer statistiquement les évolutions de la production de papier.

Pour la sidérurgie, des salaires supérieurs de 1 % à la moyenne internationale impliquent une production inférieure d'environ 0.24 % dans le modèle R-FE (IC.75 = [-0.31 ; -0.16]) et de 0.09 % dans le modèle T-FE (IC.75 = [-0.14 ; -0.04]). Cet écart dans les coefficients entre les deux modèles peut provenir d'une concurrence bien plus forte sur les salaires au niveau d'un même marché continental qu'entre tous les pays. Il peut également se traduire par le fait que des salaires plus élevés dans un pays traduisent souvent des institutions et des infrastructures plus développées dans un pays. Ces facteurs auraient alors tendance à augmenter la compétitivité d'une industrie au contraire des salaires. Ce seraient alors un problème de variables omises corrigé par les constantes de régions. De la même manière que dans l'industrie du papier, le modèle C-FE ne fournit pas de résultat significatif sur l'impact de l'évolution des salaires, dans le temps, sur la compétitivité.

### iv. La productivité et la formation des travailleurs, des leviers essentiels de la compétitivité

---

Les différentes formes de la productivité, de la main d'œuvre et technique, sont des déterminants essentiels de la compétitivité des industries du papier et de l'acier. La productivité apparente ainsi que la formation des travailleurs jouent un rôle très important à la fois dans la détermination des niveaux de compétitivité entre pays et dans l'évolution de ces niveaux dans le temps. Ce rôle est commun aux deux secteurs étudiés. L'investissement dans des outils de production performants et dans le développement des compétences des employés est un levier primordial des industriels sur leur niveau de compétitivité. Des moyens de production anciens et des ouvriers peu performants sont de véritables freins face à la concurrence internationale.

Dans l'industrie du papier, une productivité apparente du travail supérieure de 1 % par rapport à la moyenne internationale implique une hausse d'environ 0.17 % de la production (R-FE, IC.75 = [0.12 ; 0.21]). Cette hausse est plus prononcée dans le modèle T-FE (0.45 %). De même, une hausse comparable du niveau de formation des travailleurs par rapport à la moyenne internationale augmente

d'environ 0.20 % la production de papier. Il faut toutefois faire attention au fait que l'écart type n'est pas le même pour toutes les variables explicatives. Les coefficients n'expriment pas directement l'importance relative des variables dans le niveau de compétitivité d'un pays. Notamment, les écarts dans la formation des travailleurs sont assez faibles du fait du système de notation utilisé. Une déviation d'un écart type de la productivité est donc bien plus influente sur le niveau de production qu'une même déviation pour la formation. Pour le modèle C-FE, sur les déterminants de la variation de compétitivité dans le temps dans un pays, une hausse d'une année à l'autre dans un pays de 1 % de la productivité apparente du travail augmente de 0.21 % la production de papier (C-FE, IC.75 = [0.18 ; 0.25]). Pour la formation des salariés, une augmentation de 1 % dans un pays augmente en moyenne de 0.40 % la production par rapport à la moyenne du pays.

Pour la production d'acier, une productivité apparente supérieure de 1 % par rapport à la moyenne internationale augmente d'environ 0.49 % la production relative d'acier dans un pays (R-FE, IC.75 = [0.42 ; 0.57]). Une hausse de la productivité provoque un effet du même ordre de grandeur que celui d'une hausse de la consommation domestique. Le coefficient pour la formation des employés, dans le modèle R-FE, est à peu près du même ordre de grandeur (hausse de 0.36 %). Ces deux facteurs sont également significatifs pour le modèle C-FE, ils expliquent donc bien les variations temporelles de la production dans un pays.

#### v. Des coûts de l'énergie significatifs mais à l'influence modérée

Le cœur de l'étude réside dans l'analyse de l'impact des coûts de l'énergie sur la compétitivité des industries. Les résultats du modèle TSCS quantifient cet impact sur les productions de papier et d'acier. Ceux-ci sont significatifs et négatifs. Ils déterminent en partie le niveau de compétitivité d'un pays par rapport aux autres et l'évolution de cette compétitivité dans un pays. Une hausse des coûts de l'énergie diminue la production de papier et d'acier dans un pays. Cela confirme donc les résultats du modèle de gravité.

Dans l'industrie du papier, les coûts de l'électricité et des combustibles sont distingués. Des coûts de l'électricité supérieurs de 1 % par rapport à la moyenne internationale impliquent une production de papier inférieure de 0.06 % (R-FE, IC.75 = [-0.04 ; -0.09]). De même, des coûts des combustibles supérieurs de 1 %, provoquent une baisse de la production de 0.08 % (R-FE, IC.75 = [-0.11 ; -0.06]). Dans le modèle C-FE, une hausse dans le temps de 1 % des coûts de l'énergie par rapport à la moyenne d'un pays provoque une baisse de la production du pays de 0.14 % pour l'électricité (C-FE, IC.75 = [-0.16 ; -0.11]) et de 0.03 % pour les combustibles (C-FE, IC.75 = [-0.04 ; -0.01]). Cela confirme le rôle de l'énergie dans la compétitivité de l'industrie du papier : « *Dramatic increase in energy costs in Europe have placed the European paper industry at a competitive disadvantage in relation to most of its global competitors. Consequently, industry is not only losing profitability, but also potential investments to other regions* » (CEPI, 2005, p.3).

Pour la sidérurgie, une moyenne sur deux ans des coûts de l'énergie supérieure de 1 % à la moyenne internationale diminue d'environ 0.33 % la production d'acier par rapport aux autres pays (R-FE, IC.75 = [-0.41 ; -0.26]). Pour le modèle avec les effets fixes par pays, C-FE, une augmentation de 1 % de cette moyenne sur deux ans par rapport à la moyenne du pays induit une baisse de 0.20 % de la production d'acier par rapport à la moyenne du pays (C-FE, IC.75 = [-0.26 ; -0.15]).

L'effet des coûts de l'énergie sur la production est donc également prouvé et quantifié. Cela confirme et complète les résultats du modèle de gravité. Notamment, dans des modèles technologiques « bottom-up », il devient possible d'implanter le calcul des conséquences économiques d'une hausse des coûts de l'énergie (hausse des prix de l'énergie, changement de procédé de production, meilleure efficacité énergétique), ainsi que des autres variables reflétant les conditions économiques.

De plus, dans l'acier, le choix du procédé EAF semble provoquer une compétitivité plus faible de l'industrie. L'effet est significatif dans les modèles T-FE et R-FE. Une hausse de 1 % du pourcentage de fours électriques dans la production d'un pays implique une baisse d'environ 0.16 % de la production. Il est probable que cette baisse de la production soit liée à une plus faible qualité des produits des fours électriques ainsi qu'à une concurrence internationale plus forte dans ce type d'aciers que dans ceux produits par les hauts-fourneaux. Ainsi, un pays développant principalement des fours électriques produit principalement des aciers de faible qualité et très standardisés.

#### vi. Une ouverture des marchés augmentant la contrainte compétitive

L'ouverture des marchés, ou la liberté des échanges, implique selon les résultats une baisse de la production d'acier et de papier dans un pays. Cet effet provient éventuellement du fait que les pays avec une faible ouverture au commerce international protègent leur industrie de la concurrence étrangère, souvent pour des raisons de faible compétitivité. L'ouverture des marchés induit une plus forte concurrence. De plus, comme l'ouverture des marchés est souvent liée à une diminution des aides d'états, ce facteur peut également traduire une implication plus faible du gouvernement dans la direction de ces industries et donc une plus faible protection des industries fragiles.

Pour les modèles sans effets fixes par pays, une liberté des échanges supérieure de 1 % par rapport à la moyenne internationale diminue d'environ 0.27 % la production de papier et de 1.2 % la production d'acier par rapport à la moyenne de production des pays de l'étude. Par contre, l'effet de cette ouverture n'est pas significatif pour expliquer l'évolution temporelle de la production à l'intérieur des pays.

#### 2.3.3.2) COMPARAISON DE L'EFFET DES FACTEURS DE COMPETITIVITE

Afin de comparer l'influence des différents déterminants de la compétitivité, il est nécessaire de tenir compte de la distribution de ces déterminants entre les pays et les années. Si une variable varie très peu entre les pays, son influence sur les niveaux de compétitivité des pays demeurera modérée malgré un coefficient de régression élevé. Par exemple, dans l'industrie du papier, le coefficient de régression estimé pour l'abondance de vieux papier est supérieur d'environ 20 % à celui pour l'abondance de bois dans le modèle R-FE. Mais comme décrit dans le tableau 19, l'écart-type des variations est 2.7 supérieure pour l'abondance de bois vis-à-vis du vieux papier. Dès lors, l'abondance de bois détermine une plus grande partie des écarts de compétitivité entre pays que l'abondance de vieux papier.

Dans le but d'intégrer à la fois la notion d'effet marginal et de dispersion d'un déterminant, nous présentons ici l'effet de la variation de chacune des variables, sous forme logarithmique, d'un écart-type sur la production d'un pays de référence. Ce pays de référence est calculé à partir de la moyenne des autres facteurs de compétitivité. L'analyse avec des valeurs sous forme non logarithmique, c'est-à-

dire sous forme multiplicative, est bien plus complexe à interpréter car non-linéaire. Sous forme logarithmique, il faut interpréter les résultats comme l'effet d'une variation d'un écart-type d'une variable sur la production, sous forme logarithmique, par rapport à la moyenne internationale. Un résultat de +0.1 de la variable  $k$  indique, par exemple, que si la distribution de la variable  $k$  se caractérise par un écart-type autour de la moyenne, alors une telle variation de 30 % implique une variation d'un dixième d'écart-type de la production, soit environ 13 % dans le papier ou l'acier (Tableau 19). Seules les valeurs absolues des résultats du modèle R-FE sont présentées ici, afin de faciliter la comparaison. Pour connaître le signe de l'effet, il suffit de se référer au signe de l'estimation des coefficients de régression (Tableaux 17 et 18). Deux graphiques sont introduits pour chaque industrie, l'un comprenant l'effet de la consommation domestique et l'autre sans, afin de mieux comparer l'effet des déterminants autres que la consommation.

Ecart-type en logarithme	Papier	Acier
Production	1.32	1.31
Consommation	0.91	1.20
Salaires	0.81	1.29
Productivité	0.73	0.67
Coûts énergie	/	0.41
Coûts électricité	0.60	/
Coûts combustibles	0.78	/
% de fours électriques	/	0.81
Abondance de bois	1.54	/
Abondance de vieux papier	0.50	/
Prix de la pâte importée	0.12	/
Abondance de minerai de fer	/	3.03
Abondance de ferraille	/	0.84
Formation des travailleurs	0.26	0.26
Liberté des échanges	0.11	0.11

**Tableau 19 : Ecarts types en logarithme des variables de régression. A interpréter comme un pourcentage de la moyenne.**

Pour procéder à cette comparaison, des coefficients de régression standardisés sont utilisés. Il n'est pas nécessaire d'utiliser des variables standardisées dans une nouvelle régression. L'équation de ces coefficients standardisés est la suivante, où  $\beta_k$  est le coefficient de régression de la variable  $k$ ,  $\beta_k'$  est le coefficient standardisé,  $\sigma_{x_k}$  l'écart type du logarithme de la variable et  $\sigma_y$  l'écart-type du logarithme de la production :

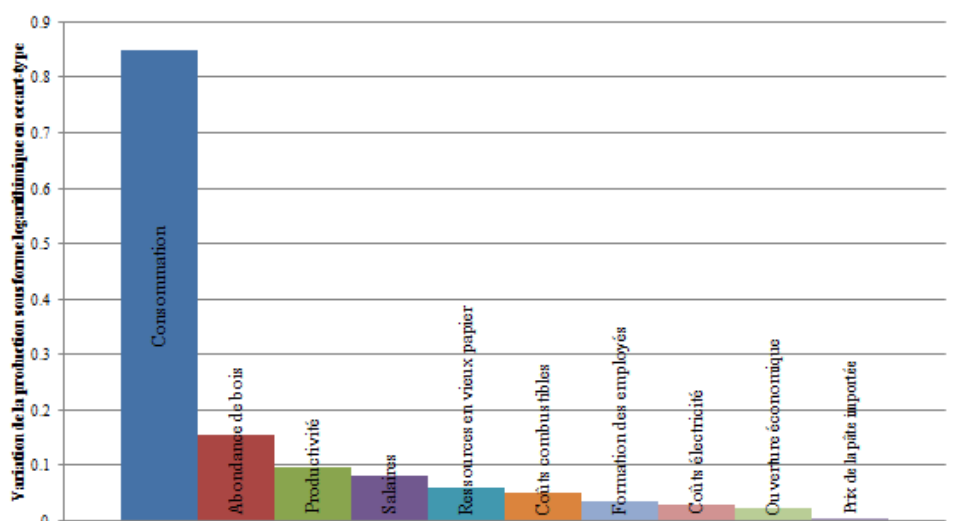
$$\beta_k' = \beta_k * \frac{\sigma_{x_k}}{\sigma_y} \quad (16)$$

Il est toutefois important de signaler que cette comparaison néglige un aspect de la comparaison des déterminants : rien n'indique que la variation d'un écart-type d'une variable est directement comparable à celle d'une autre variable. En effet, il est probable qu'une telle variation soit très difficile à réaliser pour un facteur de compétitivité et inversement pour un autre. Par exemple, dans la sidérurgie, une augmentation de la consommation domestique d'un écart-type représente presque un triplement de la consommation pour un pays dans la moyenne, ce qui est considérable.



## i. Importance des ressources dans l'industrie du papier

Le premier constat de la comparaison de l'influence des déterminants de la compétitivité est que le niveau de consommation domestique d'un pays est un critère majeur pour la compréhension de la localisation de la production de papier (Figure 113). Le niveau de consommation domestique détermine de manière beaucoup plus forte la production d'un pays que les autres facteurs identifiés. L'industrie du papier est donc une industrie fortement liée à la proximité du marché, du fait notamment de coûts de transports élevés et de la spécificité des goûts. A moins d'un changement de paradigme économique, il semble difficile de supposer un scénario de délocalisation complète de cette industrie dans les pays développés. Seul un phénomène de régionalisation, visible avec l'analyse de l'origine des importations de papier<sup>85</sup>, et d'accroissement des tailles optimales de production semblent expliquer les fermetures d'usines en Europe de l'Ouest. Les usines âgées de plus vingt ans produisant au niveau national ont tendance à être remplacées par des unités plus grandes, plus efficaces et tournées vers un marché couvrant plusieurs pays européens.



**Figure 113 : Valeur absolue des coefficients standardisés sous forme logarithmique pour l'industrie du papier**

Les autres déterminants de la compétitivité ont un effet plus modéré mais demeurent significatifs. En effet, si la production reste fortement dépendante de la demande domestique, les échanges de produits papetiers sont déterminés par ces autres facteurs. La compétitivité dans l'industrie du papier se caractérise d'abord par l'importance des ressources premières, bois et vieux papier (Figure 114).

L'abondance de bois dans un pays facilite l'accès et diminue le prix de cette ressource pour l'industrie nationale, augmentant ses exportations et donc sa production. L'abondance de bois influe environ deux fois plus que tous les autres facteurs identifiés, sur le niveau de production en papier d'un pays. L'influence de l'abondance en vieux papier est plus modérée mais compense en partie l'absence de ressources forestières dans des pays fortement urbanisés avec une consommation importante de papier.

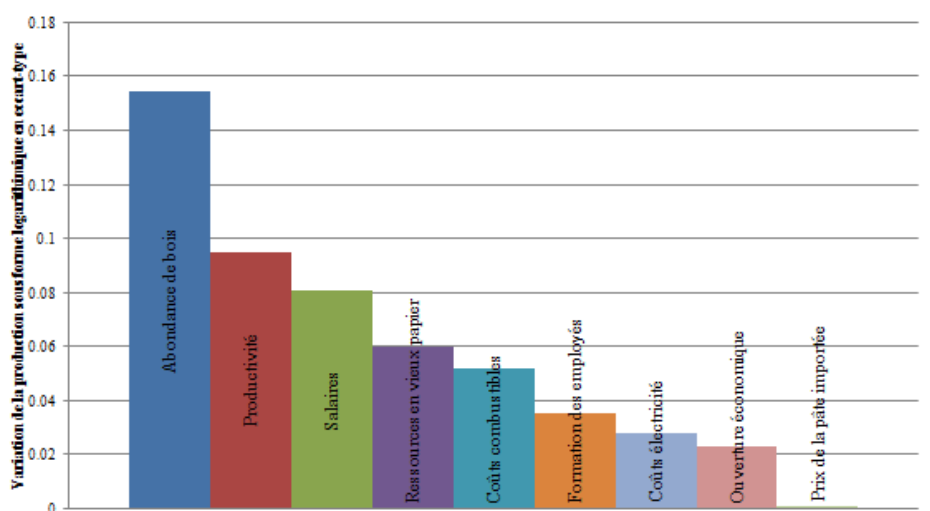
<sup>85</sup> En 2010, environ 92 % des importations de papier en France proviennent de l'Union européenne. La Chine ne représente que 0.4 % des importations et l'Amérique Latine 1 %, (COPACEL, 2010).



Ensuite, la productivité et les salaires représentent un second groupe de facteurs déterminants de la compétitivité pour l'industrie papetière. Il est également possible de lier à ces deux facteurs l'influence de la formation des employés. En effet, il apparaît clairement qu'une meilleure productivité, alliée à une meilleure formation, contrebalance une potentielle perte de compétitivité liée à des salaires élevés. Les salaires ne représentent donc pas la seule variable d'explication de la compétitivité sur le marché international des producteurs papetiers.

Puis, les variables liées à l'énergie déterminent un troisième groupe de facteurs. Si l'influence des coûts du combustible ou de l'électricité est significative, elle reste modérée par rapport à la proximité de marchés, à l'abondance des ressources premières, à la productivité et aux salaires. Toutefois, si l'on considère l'influence combinée des deux variables, qui ne sont pas forcément corrélées, les coûts de l'énergie apparaissent comme aussi déterminants que la productivité ou les salaires.

Enfin, l'ouverture économique du pays a une influence faible sur la détermination du niveau de compétitivité de l'industrie du papier, malgré un coefficient de régression élevé. L'écart-type de cette variable est faible. Cela indique que cette variable joue un rôle important que lorsque des pays ayant d'une part une forte ouverture économique et d'autre part des pays très protecteurs de leur marché local sont comparés. La variable sur le prix de la pâte importée n'étant pas significative, son influence estimée est presque nulle.

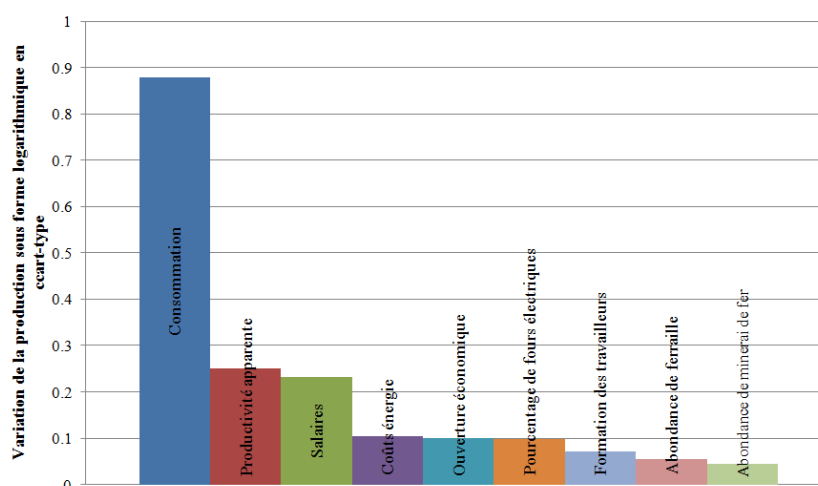


**Figure 114 : Valeur absolue des coefficients standardisés sous forme logarithmique pour l'industrie du papier, sans la consommation domestique**

## ii. La productivité et les salaires : enjeux majeurs de la sidérurgie

De façon similaire à l'industrie du papier, la consommation domestique joue un rôle crucial dans la localisation de l'industrie de l'acier (Figure 115). Le niveau de production de l'industrie sidérurgique dépend fortement de l'évolution de la demande domestique dans les pays. Le coût des transports ainsi que les besoins spécifiques des clients relativisent l'effet de la concurrence internationale. Il est probable que l'effet de cette consommation domestique soit également lié à la consommation des pays proches. Par exemple, en France, le taux de pénétration des importations d'acier est d'environ 50 % en 2008. 97 % de ces importations proviennent de l'Union européenne. L'industrie française est ainsi très

intégrée à l'industrie européenne. En outre, il est probable que l'évolution de la consommation soit corrélée entre les pays européens frontaliers.



**Figure 115 : Valeur absolue des coefficients standardisés sous forme logarithmique pour l'industrie de l'acier**

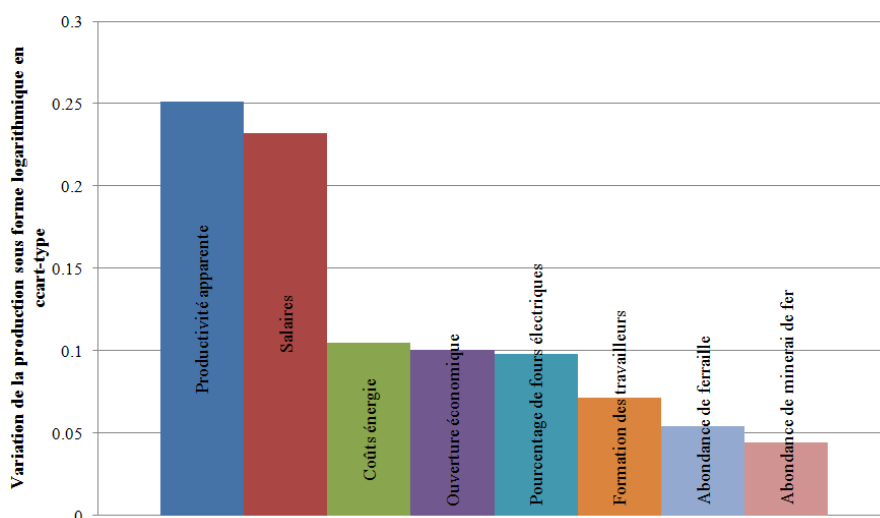
La sidérurgie se distingue ensuite de l'industrie papetière par la faible influence des ressources premières : le minerai de fer et la ferraille (Figure 116). Ce sont les deux facteurs les moins influents sur le niveau de production nationale, parmi ceux étudiés. Les échanges d'acier ne dépendent donc pas des abondances relatives en matières premières des pays producteurs. Cela peut éventuellement s'expliquer par une plus forte intensité du commerce internationale de minerai de fer que du bois industriel. Il est également possible que les pays sans ressource en fer s'orientent plus facilement vers la production utilisant des fours électriques.

La compétitivité des industries de la sidérurgie est principalement déterminée par la productivité et les salaires. La productivité, l'efficacité du système productif, joue un rôle prépondérant pour les avantages compétitifs d'une industrie nationale. La productivité et la formation des employés sont donc des moteurs importants de la compétitivité de l'industrie sidérurgique. Un niveau d'investissement important et continu dans les outils de production et dans le développement des compétences des employés est essentiel au maintien d'une industrie nationale sur les marchés internationaux. L'écart dans les salaires entre les pays est massif et induit donc des différences de compétitivité-coût majeures. En effet, ce n'est pas tant l'effet marginal des salaires qui est déterminant dans une industrie peu intensive en main d'œuvre, mais la variation très forte des salaires entre pays.

Les coûts de l'énergie ont une influence plus modérée dans la détermination des niveaux de compétitivité de l'industrie sidérurgique. Leur influence est environ 2.5 fois inférieure à celle de la productivité ou des salaires. On retrouve ainsi une conclusion similaire à celle de l'industrie du papier, l'énergie joue un rôle significatif dans la localisation de la production mais ce rôle reste modéré en comparaison des facteurs principaux de compétitivité.

Les autres facteurs utilisés dans l'étude, la liberté des échanges et le pourcentage de la production produite par les fours électriques, ont une influence également modérée sur la compétitivité de l'industrie de l'acier. Le choix de fours électriques implique une production de moindre qualité et plus

locale que pour les hauts-fourneaux. Une forte proportion de ces fours électriques réduit donc les possibilités de présence sur le marché internationale.



**Figure 116 : Valeur absolue des coefficients standardisés sous forme logarithmique pour l'industrie de l'acier, sans la consommation domestique**

### 2.3.3.3) ANALYSE DES DETERMINANTS DE LA COMPETITIVITE DANS DIFFERENTS PAYS

Une autre manière d'interpréter les résultats est d'analyser les déterminants de la localisation dans le cas particuliers de pays de 14 pays, considérés comme représentatifs de l'industrie mondiale, en 2006. Cette analyse est basée sur les résultats du modèle R-FE qui permet à la fois d'obtenir des comparaisons entre pays et de corriger des biais liés à chaque zone géographique ou marché. Cette étude se base sur la formulation logarithmique de l'équation économétrique qui rend additionnables les différentes contributions des variables de l'étude. En effet, c'est l'exponentiel de la somme des variables multipliées par les coefficients de régression qui fournit le niveau de production d'un pays relatif à la moyenne internationale. Les graphiques présentés ci-dessous introduisent donc les valeurs des variables en logarithme multipliées par leur coefficient de régression. Cependant, l'effet dominant du niveau de consommation n'a pas été introduit dans les graphiques pour des questions de lisibilité, ainsi que les constantes de temps et celle commune à toutes les observations.

#### i. L'industrie du papier

Dans l'industrie du papier, il est possible de catégoriser les 14 pays sélectionnés en 4 groupes distincts, pour lesquels les déterminants de la compétitivité de leur industrie papetière sont à peu près similaires (Figure 117<sup>86</sup>). Le premier groupe représente des pays avec de faibles ressources en bois par rapport à la moyenne internationale, une productivité modérément importante, des salaires élevés et un taux de recyclage du vieux papier légèrement supérieur à la moyenne mondiale. L'Allemagne, les Etats-Unis, la France, l'Italie et le Japon composent ce groupe. L'industrie papetière de ces pays souffrent donc principalement d'un manque de ressource en bois et donc de prix du bois élevés. Dans le même temps,

<sup>86</sup> Dans la figure, les pays sont ordonnés en abscisse selon ces différents groupes.

le recyclage du vieux papier, plus efficace que pour la moyenne mondiale, ne permet pas de compenser ce manque de ressources. De même, la productivité de l'industrie papetière peine à contrebalancer la perte de compétitivité provoquée par les salaires élevés.

Le second groupe inclut deux pays très compétitifs sur les marchés mondiaux du papier : la Finlande et le Canada. L'avantage compétitif de ces deux pays repose sur une abondance de ressources en bois mais également sur une forte productivité ainsi qu'une formation de qualité des employés dans l'industrie. Ces deux pays profitent également de coûts de l'énergie, surtout des combustibles, plus faibles traduisant à la fois de meilleurs prix mais aussi une meilleure efficacité énergétique des procédés de production. Par contre, les salaires sont assez élevés. On peut également noter le niveau élevé des constantes de zone pour ces deux pays. Cela indique qu'il existe d'autres déterminants majeurs de la compétitivité dans ces pays, communs à la Scandinavie ou à l'Amérique du Nord. Cela résulte éventuellement d'une organisation efficace de la filière forestière dans ces pays et de la concentration plus élevée des entreprises (« cluster »).

Le troisième groupe de pays est composé du Chili, de l'Indonésie, de la Pologne et de la Russie. Similairement au précédent groupe de pays, ces pays possèdent d'abondantes ressources en bois. Ils profitent en outre de faibles salaires. Par contre, la productivité de ces pays est faible et le recyclage du vieux papier peu efficace. Les facteurs de compétitivité de ce groupe sont à l'opposé de ceux du premier groupe. Ces pays, sauf le Chili, sont également fortement avantagés par les faibles coûts de l'énergie, combustibles et électricité, liés aux bas prix de l'énergie pour l'industrie dans ces pays. L'Indonésie et la Russie possèdent d'ailleurs un solde net d'échange positif qui est supérieur à la moitié de la consommation domestique de papier.

La Chine, l'Inde et la Turquie constituent le quatrième groupe. Celui-ci se caractérise par de faibles ressources en bois et en vieux papier. Ces pays ne possèdent pas de ressources locales avantageuses pour la localisation de l'industrie du papier. De plus, le niveau de productivité et de formation des employés dans ces pays sont extrêmement faibles. Seuls de très faibles salaires permettent de compenser ces désavantages, sauf pour la Turquie qui est un importateur net de papier.

Parmi tous ces pays, l'énergie joue un rôle majeur dans la compétitivité de l'Indonésie, de la Russie et de la Finlande. Pour ces deux premiers pays, ce sont surtout les prix de l'énergie qui sont avantageux alors que c'est l'efficacité énergétique qui joue un rôle important en Finlande. Le Chili, l'Italie et la Turquie sont les plus désavantagés par les coûts de l'énergie. En effet la Turquie et le Chili combinent à la fois des prix élevés de l'énergie et une faible efficacité énergétique. L'industrie papetière italienne souffre surtout des prix très élevés de l'électricité en 2006. L'énergie peut donc devenir un facteur essentiel dans la compétitivité de certains pays mais joue le plus souvent un rôle modéré.

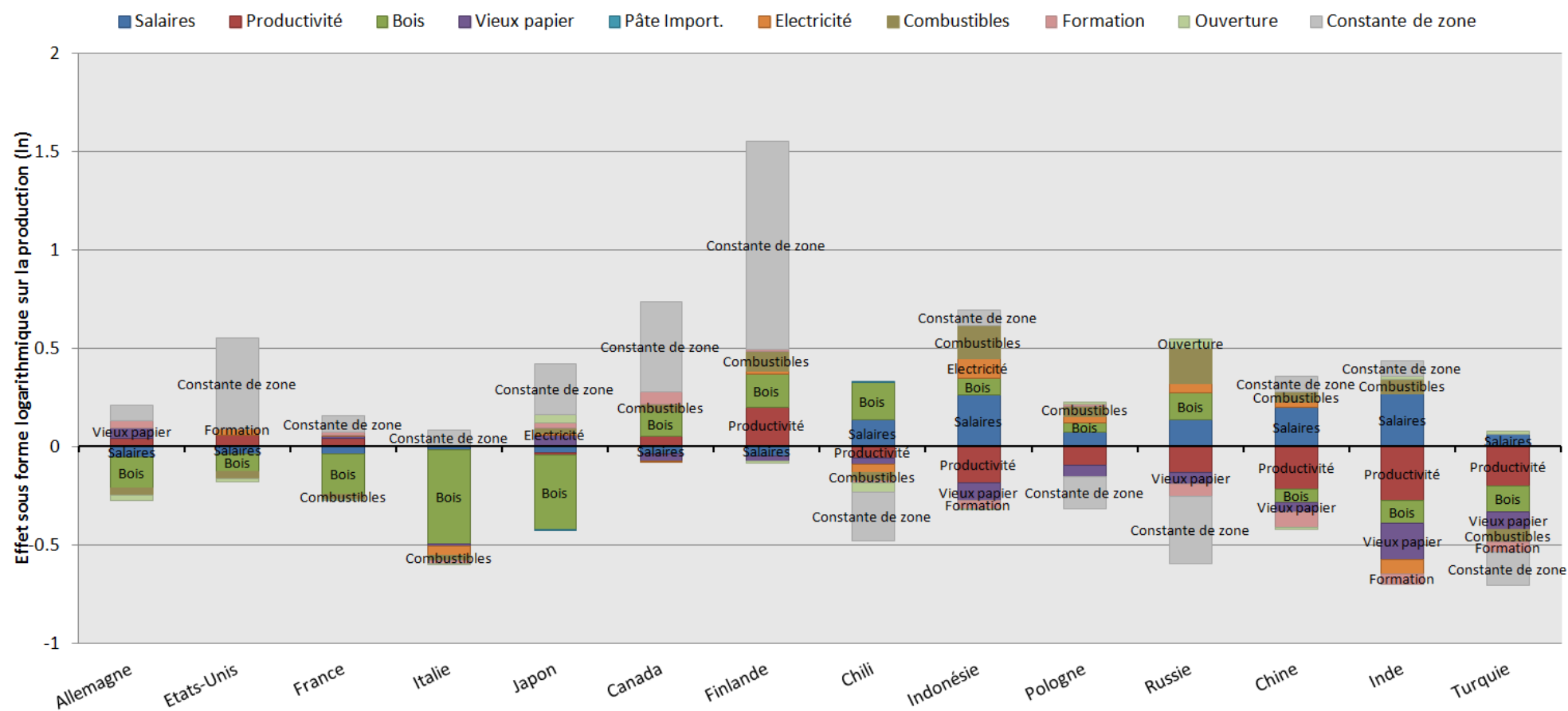


Figure 117 : Déterminants de la production dans le papier dans 14 pays en 2006 (hors consommation).

---

ii. L'industrie sidérurgique

---

La compétitivité dans l'industrie sidérurgique est surtout déterminée par la productivité et par les salaires<sup>87</sup>. L'ouverture économique joue également un rôle plus important que dans le papier, les produits de l'acier étant plus touchés par des mesures protectrices. Trois groupes de pays sont distingués selon les déterminants de leur compétitivité sur les marchés mondiaux en 2006 (Figure 118). Là encore, le niveau de consommation domestique n'est pas pris en compte.

Le premier groupe représente les pays développés avec l'Allemagne, la France, l'Italie, la Corée du Sud, les Etats-Unis et le Japon. Ces pays possèdent de faibles ressources en minerai de fer par rapport à leur consommation. La récupération de ferraille par rapport aux besoins de l'industrie est dans la moyenne mondiale. Les salaires impliquent un désavantage compétitif significatif dans ces pays. Néanmoins, les niveaux de productivité et de formation des employés dans ces pays permettent de contrebalancer ces désavantages compétitifs. On peut toutefois noter que la productivité est bien plus élevée en Corée du Sud, aux Etats-Unis et au Japon que dans les pays européens.

Le second groupe de pays est composé de pays avec une productivité moyenne, de bas salaires et des coûts de l'énergie souvent favorables. L'Afrique du Sud, la Pologne et la Turquie sont inclus dans ce groupe. Le niveau de formation est généralement faible dans ces pays réduisant la compétitivité de ces industries jusqu'à annuler le bénéfice des salaires plus faibles. De plus, la liberté des échanges y est assez restreinte, protégeant les industries locales de la concurrence internationale.

Enfin, le dernier groupe rassemble les pays émergents et ceux de l'ancien bloc soviétique : Chine, Inde, Roumanie et Russie. Ces pays sont très fortement avantagés par les faibles coûts de la main d'œuvre. Mais, ces avantages sont annulés par une très faible productivité ainsi que par une formation assez faible des employés.

Comme dans l'industrie du papier, les coûts de l'énergie ne représentent pas un facteur majeur du niveau de compétitivité des industries nationales dans la plupart des cas. Néanmoins, pour des pays comme la Russie, la Turquie, la Pologne ou les Etats-Unis, l'avantage lié à de plus faibles coûts de l'énergie est du même ordre de grandeur que l'effet des salaires ou de la productivité. Inversement, la Roumanie est fortement désavantagée par une très faible efficacité énergétique dans sa production d'acier.

---

<sup>87</sup> En addition au niveau de la consommation locale.

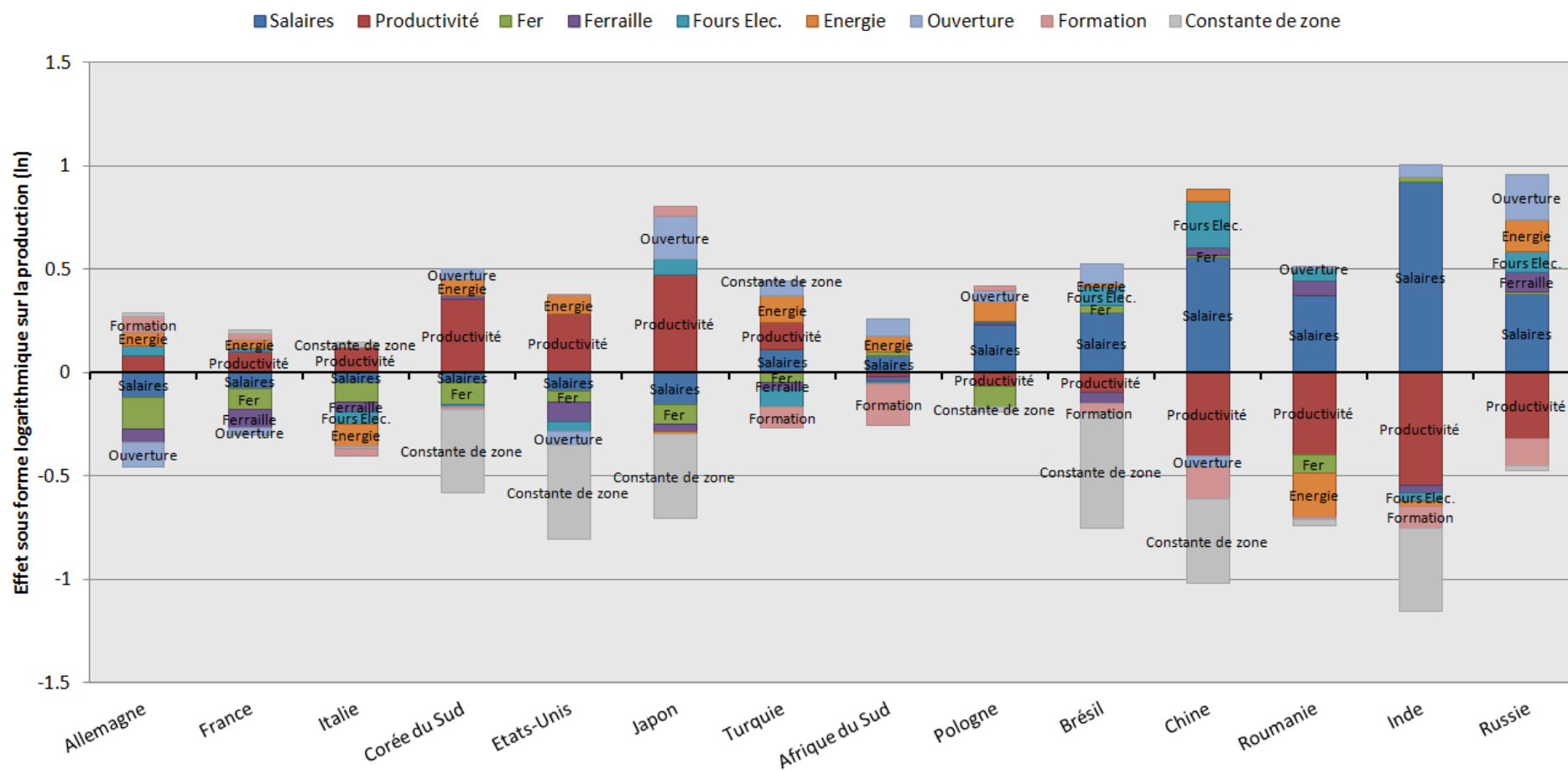


Figure 118 : Déterminants de la production dans la sidérurgie dans 14 pays en 2006 (hors consommation).



#### 2.3.4) CONCLUSION SUR LA COMPARAISON DES DETERMINANTS DE LA COMPETITIVITE DANS LES INDUSTRIES DU PAPIER ET DE L'ACIER

Les travaux sur les données de panel pour étudier la localisation de la production permettent d'abord de confirmer la significativité du rôle de l'énergie dans les industries du papier et de l'acier, puis de modérer cette influence vis-à-vis d'autres facteurs de compétitivité. Cette étude est basée sur le même échantillon que le modèle de gravité. C'est-à-dire que 32 pays répartis dans le monde entre 1995 et 2006 sont inclus pour l'industrie du papier (31 pays et à partir de 1997 pour l'acier). Cette fois, ce ne sont plus les flux bilatéraux entre chaque pays partenaires qui sont étudiés, mais la production de papier et d'acier. Le principal avantage de la production en tant que variable endogène, est que son évolution reflète des changements à court-terme de la compétitivité au contraire de l'investissement. Le cadre théorique de cette étude dérive indirectement du modèle d'Eaton et Kortum (2002). En effet, dans un modèle intégrant la production et la demande domestique, les autres variables explicatives décrivent les variations du solde net des échanges et donc l'agrégation de tous les flux bilatéraux. Cela relie donc ce modèle à l'équation structurelle des échanges faisant apparaître les coûts de production proposée par Eaton et Kortum.

Le premier résultat de cette étude est la démonstration du rôle majeur de la demande locale sur la localisation des productions de papier et d'acier. Ces deux industries demeurent fortement attachées à la proximité des marchés, nationaux ou continentaux. L'importance des coûts de transport du papier et de l'acier, les spécificités des demandes nationales, le besoin de relations améliorées avec les acheteurs permettent d'expliquer cette importance de la demande locale. Notamment, l'influence majeure de la demande domestique diminue les craintes potentielles de délocalisation massive pour des raisons de coûts. La principale tendance est à une régionalisation de la production et de la demande plutôt qu'à une mondialisation complète.

Dans le même ordre d'idées, les différences de salaires sont bien un élément majeur de la localisation de la production même pour deux industries peu intensives en main d'œuvre. Ce n'est pas tant l'effet marginal des salaires qui importe mais l'écart majeur des salaires entre les pays. Il semble alors difficile d'améliorer ce déterminant de la compétitivité sans réduire d'un ordre de grandeur les salaires dans les pays développés. L'amélioration de la productivité et la formation des employés semblent un objectif plus facilement atteignable avec des effets positifs très significatifs. L'investissement et la formation sont des outils aux mains des producteurs.

Le rôle de l'énergie dans la compétitivité de ces industries est prouvé mais reste modéré face à la consommation domestique, à la productivité et aux salaires. Ce rôle de l'énergie se vérifie dans les études avec ou sans effets fixes. C'est-à-dire que l'énergie détermine à la fois le niveau relatif de compétitivité des industries nationales mais aussi l'évolution de ce niveau dans un pays au cours du temps. Dans l'industrie du papier, des coûts de l'électricité supérieurs de 1 % par rapport à la moyenne internationale impliquent un niveau de production inférieure d'environ 0.06 %, ceteris paribus. Une évolution de 1 % de ces coûts d'une année à l'autre entraîne une baisse de 0.14 % de la production par rapport à la moyenne du pays. Pour les combustibles, des coûts supérieurs de 1 % impliquent une production inférieure d'environ 0.09 % par rapport à la moyenne internationale. Une telle hausse temporelle, pour un pays, diminue sa production de 0.03 %. Dans l'industrie sidérurgique, des coûts de l'énergie supérieurs de 1 % sur deux ans diminuent la production de 0.33 %. Une telle hausse temporelle dans un pays diminue de 0.20 % la production, par rapport à la moyenne du pays.

Ces résultats répondent donc aux questionnements sur l'impact des coûts de l'énergie sur la compétitivité des industries de l'acier et du papier. Ces conclusions sont construites à partir d'estimations statistiques basées sur l'observation de ces secteurs. Cela contribue à une meilleure compréhension du rôle de l'énergie sur les industries grandes consommatrices d'énergie, surtout par rapport aux études antérieures utilisant soit des modèles théoriques de réaction des acteurs (modèle de Cournot, de Bertrand), soit une optimisation calculée uniquement sur les coûts de production. De plus, l'utilisation des coûts de l'énergie, auquel font face les producteurs, permet d'isoler la relation entre prix de l'énergie et efficacité énergétique. Ce type de mécanisme est mieux simulé dans des modèles technologiques de type « bottom-up ». L'application des résultats numériques de cette étude peut directement être réalisée dans ces modèles. Face à une évolution des prix de l'énergie, ou des coûts environnementaux, les producteurs industriels vont modifier leur procédé de production afin de minimiser les coûts. Il est alors possible d'estimer l'impact de cette évolution minimisée des coûts sur la production par rapport à la concurrence mondiale. La production devient alors endogène à ces modèles et aux réactions des acteurs. On peut alors estimer les coûts et les limites économiques de telles politiques.

D'autre part, ces résultats sont également utiles pour les gouvernements et les industriels afin de développer ou de renforcer leur industrie nationale. La compréhension et la pondération des facteurs de compétitivité permettent l'identification des forces et faiblesses d'une industrie. Cela met alors en lumière les actions potentielles pour améliorer leur compétitivité puisque certains déterminants sont sous le contrôle des industriels (ex. productivité) et d'autres sont en-dehors de l'influence des entreprises (ex. salaires).

## **2.4) LE ROLE DE L'ENERGIE DANS L'EVOLUTION DES CAPACITES DE PRODUCTION DE LA SIDERURGIE**

Jusqu'à présent les travaux présentés étaient centrés sur l'échelle nationale, regroupant tous les producteurs d'une industrie dans un pays. Cependant, la compétitivité ne se limite pas à l'échelle d'une industrie nationale, elle peut également être analysée au niveau des entreprises et des sites de production. Il existe bien sûr un lien entre ces compétitivités à différentes échelles. Notamment, si une industrie nationale doit faire face à des coûts plus élevés que dans les autres pays et perdre des parts de marché, alors il est probable que les capacités des sites les moins productifs diminuent ou soient fermées.

Le but de cette étude est d'étudier l'impact des prix de l'énergie au niveau des usines et des fours dans la sidérurgie. Le lien entre l'énergie et la compétitivité d'une industrie nationale dans le commerce international ou dans la production à déjà été établi. L'objectif est désormais de comprendre le rôle de l'énergie dans les mécanismes de changement de capacité. Cette partie présente deux méthodes distinctes, l'une au niveau des usines avec un modèle logistique ordonné et l'autre au niveau des fours avec un modèle de survie dit de « Cox ». Ces deux méthodes ont en commun de permettre l'analyse de variables endogènes discrètes, mais se distinguent par les déterminants mis en avant. D'une part, le modèle ordonné au niveau des usines reproduit le panel de choix se présentant aux industriels ; de la fermeture à l'accroissement des capacités. Mais si l'on veut précisément analyser le rôle de l'âge technique dans le choix des fermetures, alors le second type de modèle est plus pertinent.

Seule l'industrie de la sidérurgie est analysée dans cette partie. Le travail sur l'industrie papetière sera l'objet de travaux ultérieurs. La période de l'étude est similaire à celle des sections précédentes, allant de 1997 à 2006 sur 31 pays dans le monde. Les données au niveau national sont donc similaires, seules les données au niveau des usines ou des machines ont été rajoutées.

### **2.4.1) BIBLIOGRAPHIE : DES MODELES UTILISES POUR ETUDIER LA SURVIE DES ENTREPRISES ET DES USINES**

#### **2.4.1.1) DE L'ETUDE SUR LA SURVIE DES NOUVEAUX ENTRANTS A LA GENERALISATION DES MODELES**

L'étude de la survie des usines et des firmes a d'abord été réalisée pour l'analyse des facteurs de survie des nouveaux entrants dans un secteur. Le but de ces travaux est d'identifier les caractéristiques d'une firme permettant son entrée et sa survie sur le marché.

Notamment J. Mata et al. (1995) utilisent un modèle économétrique de durée (« duration model ») pour étudier le schéma d'évolution des nouvelles entreprises au Portugal durant les années 1980. Plus spécifiquement, un modèle de risques proportionnels de Cox (« Cox Proportional Hazards Model », (Cox, 1972)) est employé car il procure un cadre d'analyse naturel pour travailler avec des données sur la durée. Il apparaît ainsi que 20 % des entreprises ferment la première année et 50 % ne survivent pas plus de 4 ans. La taille de l'entreprise à son entrée augmente significativement sa probabilité de survie, de même que sa croissance durant les années après son entrée. D'autres études confirment ces résultats

dans différents pays et à différentes périodes (Baldwin, 1995; Disney et al., 1999; Dunne et al., 1988; Lieberman, 1990). Le modèle de Cox est régulièrement utilisé, de même que des modèles de régression binomiale en logit ou probit. Ces études se basent souvent sur le modèle théorique de sélection proposé par B. Jovanovic (Jovanovic, 1982). Ce modèle avance que les différences de taille des entreprises existent non pas à cause de la fixité du capital mais du fait d'une meilleure efficacité sous-jacente à celles-ci. C'est donc cette efficacité ou ces coûts sous-jacents qui permettent une meilleure survie des entreprises de taille supérieure.

De nouvelles études ont approfondi ces résultats en élargissant l'analyse du contexte propre à l'entrée des entreprises sur un marché. Par exemple, T. Dunne et al. (2005) montrent à l'aide d'un modèle probit, l'importance de l'expérience d'une entreprise dans un marché pour la survie d'un nouveau site de production. L'histoire d'une usine ou d'une entreprise joue un rôle sur sa probabilité de survie. Par ailleurs, R. Agarwal et DB. Audretsch (2001) ont également étendu l'analyse par rapport à l'impact du cycle de vie d'une industrie sur la survie des nouveaux entrants, avec un modèle de Cox, sur environ 3400 entreprises aux Etats-Unis. Cette prise en compte du cadre sectoriel remet partiellement en cause les résultats obtenus sur l'effet de la taille de l'entreprise entrante. Si ces résultats sont confirmés pour des industries naissantes ou de faible technologie, ils sont contredits pour les industries matures ou de haute technologie.

Ensuite, à partir de ces premiers travaux, les recherches ont plus particulièrement étudié l'impact de certains facteurs sur les fermetures d'usines ou d'entreprises. L'aspect le plus analysé a été celui du rôle des multinationales sur les fermetures ; l'impact de l'appartenance d'une entreprise à une multinationale sur ses risques de fermeture en période de déclin. A. Ferragina et al. (Ferragina et al., 2011) utilisent un modèle de Cox sur des entreprises italiennes de 2004 et 2008, en distinguant leur caractère multinational. D'autres facteurs explicatifs des fermetures sont inclus afin de contrôler leur effet dans la régression : taille de l'entreprise, âge, productivité, intensité capitaliste, profits, concentration du secteur, pénétration des entreprises étrangères. Cette étude démontre que les entreprises multinationales étrangères sont intrinsèquement plus mobiles que les firmes domestiques. Les filiales possédées par ces multinationales étrangères ont une probabilité plus forte de fermer dans des conditions similaires. De même, les filiales de multinationales domestiques ont un meilleur taux de survie dans le secteur des services que les entreprises domestiques présentes sur le marché national. Pour répondre à cette même problématique, R. Alvarez et H. Görg (2009) ont développé un modèle probit sur les fermetures, non plus de filiales, mais d'usines au Chili entre 1990 et 2000. Ces travaux confirment les résultats sur les multinationales et précisent que ce sont plutôt les usines des multinationales dont la production est orientée vers le marché local, plutôt que vers l'exportation, qui ont le risque de fermeture le plus élevé. Un point méthodologique commun à ces deux études réside dans l'utilisation de variables pour différentes années et non plus de valeurs initiales ou de moyennes comme dans les précédents travaux.

D'autres études ont également étudié les fermetures d'usines ou d'entreprises avec des modèles discrets tout en contrôlant les principaux facteurs explicatifs de fermeture afin de déterminer l'influence de facteurs particuliers. Dans le secteur de la pétrochimie, MY. Chen (2002) analyse l'impact de la dérégulation des marchés du pétrole aux Etats-Unis sur la survie des raffineries. L'auteur applique une méthode paramétrique de survie de Weibull sur 299 raffineries américaines entre 1981 et 1986. La taille et la technologie ainsi que la coordination entre plusieurs raffineries d'une même entreprise augmentent les chances de survie. Pour leur part, E. Dimara et al. (2008) intègrent à un modèle de survie les résultats d'une estimation de la productivité des entreprises par une méthode

de « Data Envelopment Analysis » (DEA). Le but est d'analyser l'effet de la productivité sur les fermetures d'entreprises dans le secteur agroalimentaire en Grèce. Il apparaît que le taux de survie augmente fortement avec le niveau de productivité. Dans l'industrie du papier, X. Li et al. (2004) étudient l'évolution de la capacité de production des usines de papier aux Etats-Unis, de 1970 à 2000, avec des modèles logit et probit. Le but est d'analyser l'effet de l'âge des usines sur le risque de fermeture, en plus de l'effet de taille. Les résultats montrent qu'une différence de 10 ans, entre deux usines identiques, réduit de 6000 tonnes la croissance annuelle en capacité.

#### 2.4.1.2) LES MODELES SUR LES CHANGEMENTS DE CAPACITE DANS L'INDUSTRIE SIDERURGIQUE

---

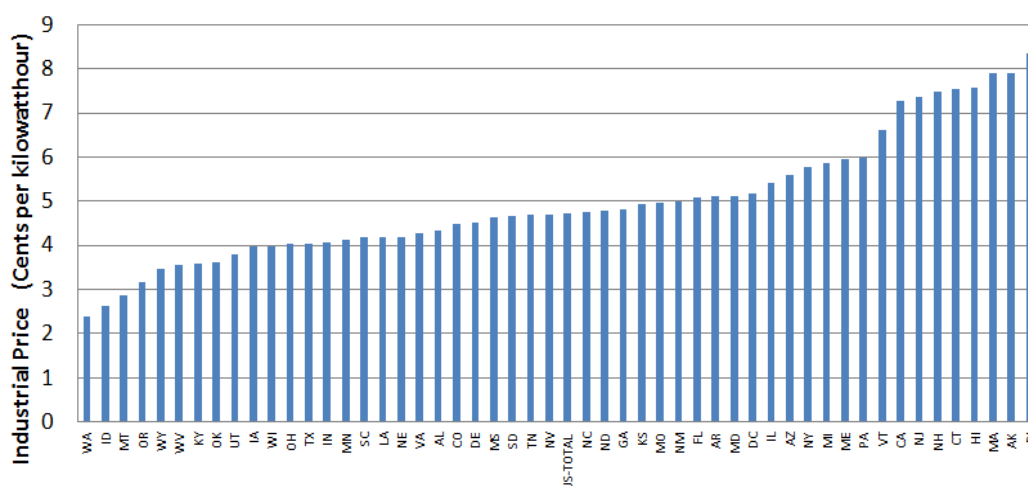
Trois recherches peuvent directement être reliées à l'étude présente car celles-ci analysent également les changements de capacité dans la sidérurgie. Tous ces travaux se basent sur les usines sidérurgiques aux Etats-Unis. Ils couvrent surtout les années 1970 et 1980. En effet, ces décennies constituent une période de restructuration massive de l'industrie américaine avec une stagnation de la demande en acier liée aux chocs pétroliers, l'augmentation des importations d'acier et l'implantation rapide des fours électriques. Ainsi, 22 des 45 usines à hauts-fourneaux ont été fermées entre 1974 et 1991. De même, la répartition spatiale de ces usines a fortement évolué, se déplaçant de la région de Pittsburgh vers les Grands Lacs, notamment pour un accès à une zone côtière, et également dans le reste des Etats-Unis avec le développement des fours électriques (Beeson & Giarratani, 1998).

La première étude de ME. Deily (1991) examine les décisions de fermeture des sites intégrés de production d'acier, en utilisant à la fois des données sur les usines et sur les firmes. L'auteur considère qu'en présence d'imperfections du marché (faible nombre d'acteurs, asymétries des informations ou problème du principal-agent), ce ne sont pas seulement les caractéristiques des usines qui déterminent les fermetures mais aussi celles des entreprises. Notamment, la capacité totale de l'entreprise, le nombre d'usines qu'elle possède et la diversification de sa production influent sur ses choix de changement de capacité. Une base de données comprenant 49 usines à hauts-fourneaux entre 1977 et 1987 est alors utilisée. Deux méthodes économétriques sont développées pour répondre à des objectifs différents. L'une se base sur un modèle logistique ordonné classant en trois catégories les choix des industriels : « *A firm in a declining industry is modelled here as choosing one of the three fates for a plant : it may close the plant, keep the plant open but make no significant investment, or keep the plant open and make significant investments* » (Deily, 1991, p.251). L'objectif est de savoir si l'ajout de variables sur les entreprises propriétaires joue un rôle sur la probabilité de fermeture. La seconde méthode tente d'évaluer l'ordre temporel de fermeture des usines avec un modèle de survie de Cox.

Les résultats mettent en évidence l'influence majeure des facteurs liés aux usines, tels que la taille de l'usine, le niveau de compétition locale avec les fours électriques ainsi que la demande locale (Deily, 1991). Les résultats pour les facteurs liés aux entreprises donnent des résultats plus contrastés et moins significatifs. De même, le modèle de Cox ne fournit pas d'indication précise, le test de significativité commune n'est pas concluant. Il est probable que le nombre d'observations soit trop faible pour une estimation statistique robuste avec seulement 19 fermetures. De même, le modèle n'inclut pas de variables évoluant dans le temps, qui peuvent avoir un rôle important dans la détermination de l'ordre de fermeture.

Ensuite, P. Beeson et F. Giarratani (1998) ont également réalisé une étude autour de la même problématique. L'échelle et le choix de variables sont à peu près équivalents. La base de données utilisée comprend 45 usines à hauts-fourneaux aux Etats-Unis, entre 1974 et 1991. Les variables sont distinguées selon trois groupes : sur la description du marché local (demande et compétition), sur les coûts de production locaux (minerai de fer, coke, électricité et régulation environnementale) et enfin sur les caractéristiques des entreprises (taille, âge, procédé). On peut d'ailleurs noter que les deux études accordent une place particulière à l'aspect géographique. L'objectif principal de l'étude est de déterminer si les changements de localisation de l'industrie sidérurgique aux Etats-Unis ont été déterminés par une évolution de la demande « Market pull » ou de l'accès aux ressources « Materials pull ». Pour cela, les auteurs analysent d'abord si une usine doit fermer ou non. Puis, si cette usine demeure ouverte, comment évoluent les capacités : stabilité, baisse ou augmentation.

Dans le premier cas, un modèle logit est utilisé sans prise en compte de l'évolution annuelle des variables ; l'étude évalue le nombre de fermetures sur une période de quatre ans. Dans le second cas, un modèle Tobit est utilisé car un changement de capacité ne peut logiquement jamais être inférieur à -100 %. Le modèle Tobit permet donc de prendre en compte ce problème de censure des données dans l'estimation statistique. Les résultats mettent en avant le rôle de l'évolution de la demande dans les changements de localisation de l'industrie sidérurgique. Dans la région de Pittsburgh, de nombreuses usines ont été fermées dans l'industrie automobile, réduisant ainsi la demande en acier (« Rust Belt »). L'introduction des fours électriques a également fortement fragilisé la compétitivité des hauts-fourneaux. Ces conclusions sont donc en faveur d'un effet « Market Pull » sur la localisation des usines. L'effet des ressources est plus ambigu, souvent peu significatif sauf sur les prix de l'électricité. Ceux-ci augmentent les risques de fermeture. Il est probable que les prix du fer et de la coke soient homogènes dans les états américains au contraire des prix de l'électricité dépendant du mix énergétique des producteurs d'électricité dans chaque état (Figure 119). Les variables sur le minerai de fer et sur le coke sont donc peu significatives à cause du manque de variations entre états américains.



**Figure 119 : Prix de l'électricité pour l'industrie aux Etats-Unis en 1990.**  
Sources : (EIA, 2012b)

Enfin, les travaux de BA. Blonigen et al. (2009) s'appuient sur une base de données au niveau des lignes de production dans la sidérurgie et non plus au niveau des usines pour étudier l'effet des politiques de protection commerciale sur la survie des usines. L'avantage de cette base de données

plus détaillée est de permettre la distinction entre les différents types de produits, ce qui est nécessaire pour analyser l'effet de restrictions commerciales qui s'appliquent le plus souvent à des produits particuliers et non à toute une industrie. Ainsi, 290 lignes de productions, aux Etats-Unis, pour 5 types de produits, sont prises en compte à intervalles irréguliers sur trente ans (entre 2 et 5 ans). L'année précise de fermeture n'est donc pas connue. Les variables explicatives introduites en plus de la mesure des restrictions commerciales incluent la capacité des lignes de production et de la compagnie, l'âge, la technologie, l'origine des investissements et le prix des produits sidérurgiques sur le marché. Un modèle logistique est utilisé. Les résultats démontrent que la taille d'une ligne de production réduit les risques de fermeture, de même que l'utilisation d'une technologie à arc électrique. A l'inverse, l'âge de la ligne augmente significativement le risque de fermeture. Surtout, les résultats fournissent une preuve de l'effet des politiques commerciales sur la diminution des fermetures d'usines. Par contre, les informations sur les entreprises ne permettent pas d'améliorer la modélisation.

Ces trois études sur la sidérurgie démontrent principalement l'importance des caractéristiques propres aux usines : leur capacité, leur âge et la technologie utilisée. L'évolution de la demande locale est également un facteur explicatif important des changements de capacité. Par contre, les caractéristiques liées aux entreprises propriétaires sont peu significatives. L'importance des coûts locaux semblent plus contrastée mais cela provient probablement de la limitation des études aux Etats-Unis. La limitation à un pays réduit également le nombre d'observations disponibles, réduisant alors la robustesse des résultats. De plus, aucune de ces études n'utilisent de données variant annuellement, ce qui limite les interprétations à court et moyen termes. Notre étude s'appuie sur ces précédents travaux, en se concentrant sur les caractéristiques des usines et de la demande au niveau national<sup>88</sup>. Le but est d'utiliser ces variables pour contrôler leur effet, puis d'analyser plus précisément le rôle de l'énergie. Ce travail se distingue en deux points des études présentées. D'abord les changements de capacité sont étudiés au niveau international ce qui permet d'obtenir un nombre bien plus important d'observations et également d'avoir des variations plus importantes dans les coûts de production entre les pays qu'entre états américains. Ensuite, l'évolution des variables d'année en année est prise en compte. Cela permet une connaissance plus précise des conditions de fermeture d'une usine, notamment pour les modèles de survie.

#### 2.4.1.3) DEUX TYPES DE METHODES : ORIENTATION DES CHOIX METHODOLOGIQUES DE L'ETUDE

---

La revue de littérature permet de définir une méthodologie précise d'analyse des changements de capacité dans la sidérurgie. L'objectif de ces études, au départ, était d'étudier la survie des nouveaux entrants. Cependant, les bases méthodologiques apportées par ces études, notamment sur le choix des variables explicatives, ont permis d'étudier des sujets et des secteurs plus spécifiques par la suite. De manière similaire à ces travaux, nous nous appuyons sur ces premiers travaux pour établir un cadre d'analyse auquel nous ajoutons des informations sur l'énergie, afin d'en étudier l'influence.

Notre principale contribution est d'étudier les changements de capacités à un niveau international, ce qui permet d'introduire l'effet des différences nationales : « *Mill entry can also be modeled in parallel with prices and costs, possibly by exploiting regional industry growth as a function of prices and*

---

<sup>88</sup> La demande nationale est étudiée au travers de l'évolution des taux d'utilisation des capacités de production au niveau national.



*costs, possibly by exploiting the panel data structure. Furthermore, other variables such as resource availability, corporate tax policies and environmental regulations should also be investigated, as potential determinants of growth or decline in the US pulp and paper industry* » (Li et al., 2004, p.18).

En outre, nous analysons des variations annuelles grâce à la mise en place d'une base de données, à la fois sur les caractéristiques nationales et sur les usines. L'évaluation des conditions de fermeture est donc beaucoup plus précise : *« Further research on steel firms' exit behaviour must involve development of a panel data set that includes time-varying factors »* (Deily, 1991, p.263). Par exemple, dans le cas où les taux d'utilisation des capacités sont introduits comme une moyenne sur une période de plusieurs années, alors ce taux est une combinaison de la situation avant et après la fermeture d'une usine. Or, la fermeture d'une usine correspond souvent à une réponse des acteurs industriels à un faible taux d'utilisation des capacités. Ce taux est alors corrigé par cette fermeture, une moyenne temporelle semble alors peu pertinente pour cette variable.

La plupart des études précédentes sont établies sur des données discrètes d'investissements, de fermetures ou de changements de capacité. Deux catégories de méthodes sont utilisées, les études de survie et les modèles de choix discrets binaires et non linéaires, tels que les modèles logit ou probit. En fait, ces deux types de modèles sont liés. Les modèles binaires permettent d'explorer l'effet d'une variable explicative sur la probabilité d'un événement. Dans les modèles de survie, la durée de la période devient la variable étudiée. Les modèles semi-paramétriques de survie, dont le modèle de Cox (Cox, 1972), agrègent alors des modèles de choix binaire pour chaque période de temps. Ainsi pour chacune de ces périodes de temps, les modèles de durée semi-paramétriques estiment la probabilité de décès, ou de fermeture, conditionnée par la survie durant les périodes précédentes (Cleves et al., 2010). Ces modèles sont également mieux adaptés pour tenir compte des problèmes de censure des observations, avant et après la période d'analyse.

Nos travaux sur les changements de capacité étudient l'impact des prix de l'énergie à deux échelles ; l'une au niveau des sites de productions et l'autre au niveau des fours. L'avantage d'étudier les usines est de pouvoir analyser à la fois la stabilité, l'augmentation, la baisse et la fermeture des capacités. Néanmoins, il est difficile d'estimer l'âge d'une usine composée de plusieurs fours. Doit-on considérer l'âge moyen des fours, une pondération ou ne prendre que l'âge du four le plus ancien ? Pour mieux intégrer la question de l'âge dans l'étude des changements de capacité, les modèles de durée sur les fours sont plus pertinents. Cependant, il n'existe pas de gradation des capacités pour un four, il est soit ouvert, soit fermé. Les déterminants de la durée de vie d'un four sont donc étudiés.

#### 2.4.2) CONSTRUCTION DES MODELES DE CHANGEMENTS DE CAPACITE POUR UNE APPLICATION SUR LA SIDERURGIE AU NIVEAU MONDIAL

Afin de répondre à la question des changements de capacité dans la sidérurgie selon deux échelles différentes, usine et machine, deux méthodes distinctes, chacune adaptée à une échelle particulière, sont développées. Chaque méthode est basée sur l'hypothèse que dans une industrie parfaitement compétitive, les usines avec les coûts de production les plus élevés quittent le marché en premiers. Les usines les moins efficaces ferment si les profits chutent en dessous d'un seuil. Ce seuil dépend de la part des coûts variables par rapport aux coûts fixes, de la valeur de récupération de l'outil industriel et des coûts d'opportunités (Beeson & Giarratani, 1998; Blonigen et al., 2009). Ces profits ne sont pas observés directement pour chaque usine mais considérés comme une variable latente (voir Encart 4).

Pour l'étude sur les usines, une méthode discrète ordonnée est utilisée, dans laquelle les modalités de la variable à expliquer sont hiérarchisées. Quatre possibilités existent pour décrire l'évolution de la capacité d'une usine : augmentation, stabilité, baisse ou fermeture. Il existe donc une hiérarchie entre ces choix. Si l'on considère que la variable latente représente les profits ou la compétitivité, alors pour une usine cela revient à supposer qu'une augmentation de capacité traduit une plus grande compétitivité de celle-ci qu'une situation de stabilité de sa capacité. De même, on effectue la même supposition entre la stabilité et la baisse de capacité ainsi qu'entre la baisse de capacité et la fermeture.

Dans l'étude des fours sidérurgiques, l'objectif principal est d'étudier l'effet des prix de l'énergie sur le risque de fermeture annuel. Les conditions économiques déterminent les profits d'un four sidérurgique et donc son niveau par rapport au seuil de fermeture. Ce seuil de fermeture intervient quand le revenu net de fonctionnement du four devient égal au revenu qui peut être obtenu en fermant le site et par la revente des moyens de production<sup>89</sup>. Une évolution des profits dépendant des coûts de production peut donc accélérer ou ralentir la fermeture d'un four par rapport à sa durée de vie standard (Deily, 1988).

#### La variable latente

Afin d'estimer les modèles non-linéaires de choix (binaire, ordonné, multinomial) avec les outils mathématiques de régression, une variable latente est introduite. Soit un cas de choix binaire dans lequel  $y_i$  représente le choix observable de l'individu  $i$ , alors  $y_i=1$  ou  $y_i=0$ . Alors les moindres carrés ordinaires ne peuvent pas s'appliquer, notamment à cause de la non-normalité de la distribution des erreurs. On suppose alors qu'il existe une variable non observée et continue  $y_i^*$  qui représente la propension de l'individu à choisir, c'est la variable latente. Si cette variable est supérieure à 0, alors le choix 1 est sélectionné :

$$y_i = \begin{cases} 1 & \text{si } y_i^* > 0 \\ 0 & \text{si } y_i^* \leq 0 \end{cases} \quad (17)$$

Cette variable est une fonction linéaire des  $n$  facteurs  $x_i^n$ , déterminant le choix dans le modèle. Dans le cas où seule une variable explicative est présente, on a la formulation suivante avec les coefficients estimés  $\beta$  et le terme d'erreur résiduelle  $\varepsilon_i$ , pour lequel  $E(\varepsilon_i|x_i) = 0$  :

$$y_i^* = \beta_0 + \beta_1 * x_i + \varepsilon_i \quad (18)$$

Soit  $P_i$  la probabilité que  $y_i^* > 0$ , alors :

$$P_i = \text{Prob}(y_i = 1) = \text{Prob}(y_i^* > 0) = \text{Prob}((\beta_0 + \beta_1 * x_i + \varepsilon_i) > 0) \quad (19)$$

$$P_i = \text{Prob}(y_i = 1) = \text{Prob}(\varepsilon_i > -(\beta_0 + \beta_1 * x_i)) = \text{Prob}(\varepsilon_i < (\beta_0 + \beta_1 * x_i)) \quad (20)$$

La probabilité  $P_i$  du choix  $y_i=1$ , dépend alors de la distribution du terme d'erreur  $\varepsilon_i$  qui est soit sous la forme d'une loi normale (Probit), soit d'une loi logistique (Logit).

**Encart 4 : Explication de la variable latente (Bourbonnais, 2009; Rabe-Hesketh & Skrondal, 2008)**

<sup>89</sup> La valeur des moyens de production peut toutefois être négative. Dans ce cas, même si tous les coûts variables ne sont pas couverts, une usine peut rester ouverte malgré des pertes.

### 2.4.2.1) UN MODELE DE CHOIX ORDONNE SUR LES CHANGEMENTS DE CAPACITE DANS LES USINES

#### i. Méthodes d'estimation

Les modèles discrets ordonnés sont le plus souvent utilisés pour étudier des données en coupe sur plusieurs individus durant une seule période de temps. Dans notre cas, l'étude porte sur les changements de capacité des usines sidérurgiques entre 1996 et 2006 dans 31 pays (Tableau 6, p.137). L'objectif est de prendre en compte les variations annuelles des déterminants de l'évolution des capacités et non seulement une moyenne. La composante temporelle est donc essentielle. Or cet aspect temporel pose des difficultés dans l'estimation économétrique. Des modèles ordonnés logit et probit intégrant des effets individuels sont donc nécessaires (Afonso et al., 2009).

Afin d'intégrer au mieux la composante propre à chaque usine, trois procédures d'estimation sont possibles : un modèle logit ordonné et un modèle probit ordonné avec une matrice de variance-covariance robuste<sup>90</sup> ainsi qu'un modèle logit avec des effets individuels aléatoires. Les deux premières méthodes spécifient des erreurs standards de manière à permettre la corrélation intragroupe, relâchant la contrainte usuelle d'indépendance des observations. En fait, les observations sont considérées comme indépendantes entre les groupes mais pas nécessairement à l'intérieur des groupes. La troisième méthode est très proche des méthodes à effets individuels pour les régressions linéaires. En effet, cette méthode introduit un terme aléatoire, variant entre les différentes usines, dans l'équation de la variable latente. Il n'existe cependant pas de méthode réalisable à effets fixes pour les modèles ordonnés<sup>91</sup> (Rabe-Hesketh & Skrondal, 2008). Le choix entre ces trois procédures est basé sur les travaux d'A. Afonso et al. (2009). Les conclusions de son étude favorisent l'utilisation d'effets individuels aléatoires dans les données de panel pour les modèles ordonnés : « *Of the three, the most efficient method is the random effects ordered probit estimation, since a considerable number of variables show up as significant that are not picked up using the other two methods* ». Les deux autres méthodes seront néanmoins calculées et présentées dans les résultats à titre de comparaison.

La méthode ordonnée est une extension des méthodes de régression utilisées pour analyser un choix binaire. Pour rappel, une variable latente, non observée et continue,  $y_i^*$  est utilisée. L'équation de cette variable est alors sous la forme suivante pour une variable explicative, où les  $\beta_n$  représentent les coefficients estimés et  $\varepsilon_i$  le terme d'erreur résiduelle selon une distribution normale (probit) ou logistique (logit) :

$$y_i^* = \beta_1 * x_i + \varepsilon_i \quad (21)$$

Dans le modèle ordonné, les réponses observées  $y_i$  sont obtenues à partir des valeurs de la variable latente selon un modèle avec  $S$  seuils, un pour chaque choix possible (Rabe-Hesketh & Skrondal, 2008) :

<sup>90</sup> Utilisation de l'option « vce(cluster) » dans Stata v.11.

<sup>91</sup> L'utilisation des effets fixes dans les logiciels est possible mais n'est pas recommandé car les estimations avec effets fixes sont non consistantes dans ce type de modèle non-linéaire. De manière asymptotique, le problème serait moindre, mais à peu près 50 observations par groupe sont nécessaires (Rabe-Hesketh & Skrondal, 2008).

$$y_i = \begin{cases} 0 & \text{si } y_i^* < \mu_1 \\ 1 & \text{si } \mu_1 < y_i^* \leq \mu_2 \\ \vdots & \vdots \\ S & \text{si } \mu_{S-1} < y_i^* \end{cases} \quad (22)$$

Dès lors, on peut formuler la probabilité cumulative d'un choix supérieur à la catégorie observable  $s$  de la manière suivante où  $F()$  est la fonction de répartition:

$$\begin{aligned} Prob(y_i > s | x_i) &= Prob(y_i^* > \mu_s | x_i) = Prob(\beta_1 * x_i + \varepsilon_i > \mu_s | x_i) = \\ &Prob(-\varepsilon_i \leq \beta_1 * x_i - \mu_s | x_i) = F(\beta_1 * x_i - \mu_s) \end{aligned} \quad (23)$$

L'utilisation des effets individuels aléatoires dans un modèle à données de panel revient à introduire une variable aléatoire  $\varphi_i$  dans l'équation de la variable latente pour laquelle  $(\varepsilon_{it} | x_{it}, \varphi_i)$  possède une distribution logistique ou normale (Rabe-Hesketh & Skrondal, 2008):

$$y_{it}^* = \beta_1 * x_{it} + \varphi_i + \varepsilon_{it} \quad (24)$$

Pour estimer ce type de modèle dans le logiciel économétrique Stata, il est nécessaire d'implémenter une nouvelle fonction « gllamm » réalisée par des chercheurs indépendants et non par l'équipe de Stata. La fonction gllamm permet de travailler sur des modèles linéaires généralisés à multiple niveaux (Rabe-Hesketh et al., 2005).

## ii. Choix et définitions des variables

### *Description de la variable expliquée*

Différentes possibilités existent quant à la façon de définir la variable expliquée sur les choix de changements de capacité. Le plus simple est de la différencier en trois catégories : augmentation, stabilité ou baisse des capacités. Cette catégorisation repose sur l'hypothèse que les usines sont classées selon leurs profits, qui sont dépendants des caractéristiques de ces usines mais aussi du pays ou de la région économique. Néanmoins, différentes classifications proches sont possibles afin d'affiner la description du comportement des acteurs.

Pour le choix de stabilité des capacités, il est important de noter que cela comprend à la fois un maintien des fours sidérurgiques existants et le remplacement de ceux-ci quand ils arrivent en fin de vie. Il aurait été envisageable de distinguer ces deux événements selon deux catégories différentes. Cependant, il devient alors difficile de hiérarchiser ces deux choix. L'un des choix est soumis à des contraintes de temps et ne représente donc pas forcément une plus grande compétitivité sous-jacente. Par exemple, une usine avec des fours sidérurgiques neufs n'a aucun intérêt à réinvestir même si elle est plus compétitive qu'une autre avec des fours anciens en fin de vie qui renouvelle son parc de production. Le regroupement de ces deux choix sous une même catégorie diminue la compréhension des différents choix mais n'altère pas l'estimation économétrique.

Une nouvelle catégorie a été ajoutée afin de distinguer une baisse de capacité dans une usine et une fermeture. En effet, il est pertinent de considérer que la fermeture complète d'une usine implique un manque de compétitivité plus important qu'un ajustement de la capacité à la baisse. La fermeture d'un site est souvent un choix irréversible, au contraire d'une baisse de capacité. Néanmoins, la plupart des

baisses de capacités sont aussi des fermetures ; sur 144 cas de baisses de capacité, 96 sont des fermetures dans l'échantillon de l'étude.

Enfin, il aurait également été possible de distinguer l'augmentation des capacités dans une usine existante de la création d'une nouvelle usine (« Greenfield investment »). Il est toutefois difficile de définir, dans ce cas, une hiérarchie entre la création d'un nouveau site de production et l'augmentation d'un site déjà existant. Le choix s'effectue plus selon les opportunités d'augmentation de la capacité d'une usine existante que sur une différence de compétitivité.

La variable expliquée décrivant les changements de capacité est donc composée de quatre catégories. Afin d'éviter des erreurs d'interprétation liées à l'incertitude des données, seuls les changements de capacité supérieurs ou inférieurs à 10 % de la capacité initiale sont pris en compte. L'ordre de classification est alors :

- 0 : Fermeture
- 1 : Baisse de capacité (<-10 %)
- 2 : Capacité stable
- 3 : Augmentation de capacité (>+10 %)

La base de données est composée d'observations sur 1113 usines sidérurgiques<sup>92</sup>, dont 893 usines à fours électriques et 220 usines à hauts-fourneaux. Cela représente un total de 11290 observations<sup>93</sup>. Parmi ces observations, 144 indiquent une baisse des capacités de production dans 136 usines différentes entre 1995 et 2006. Notamment, 96 de ces baisses de capacité ont également été des fermetures d'usine. A l'inverse, 315 observations représentent une hausse des capacités dans 284 usines différentes, dont 152 ouvertures d'usine. Il existe donc un nombre significatif de cas représentant un changement de capacité, bien plus que dans les études précédentes sur la sidérurgie.

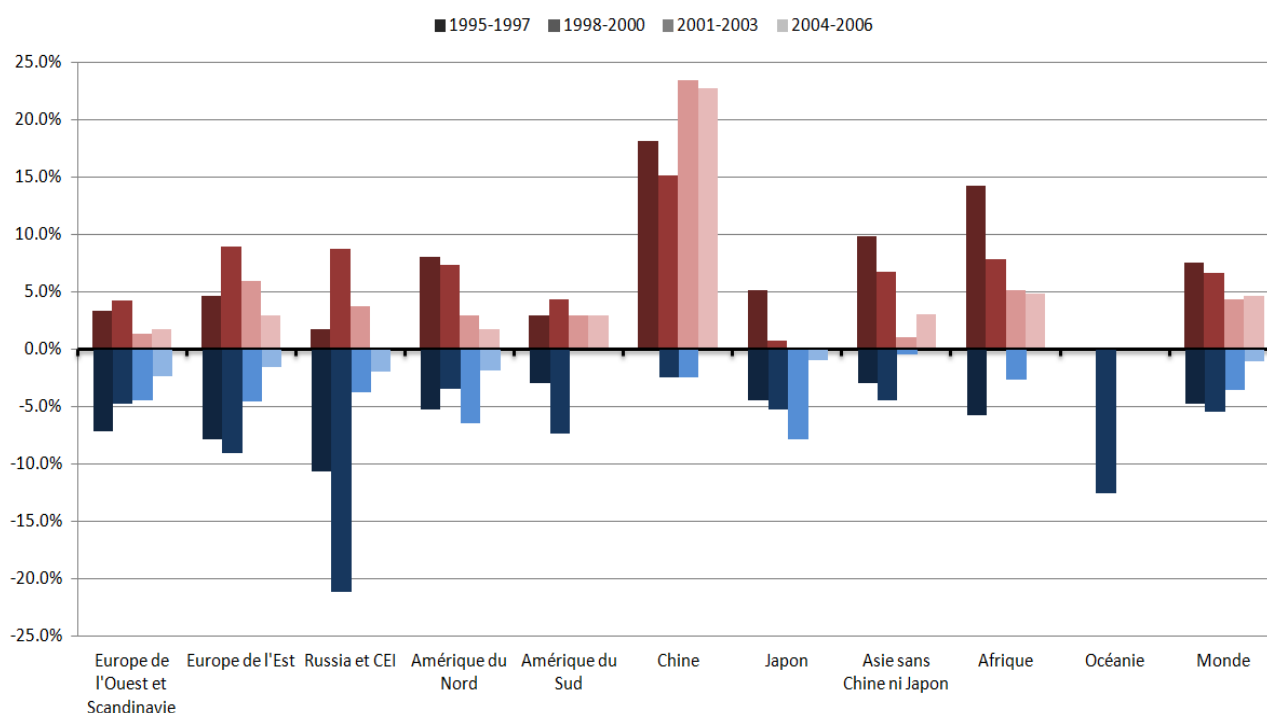
La figure 120 présente ces changements de capacité dans les usines sidérurgiques par grandes régions du monde sur quatre périodes différentes. On retrouve dans ce graphique les grands mouvements de la sidérurgie mondiale (voir p.139), avec de nombreux changements de capacité en hausse et en baisse<sup>94</sup>, signes d'importants mouvements de restructuration, entre 1995 et 2000. Puis, une phase de forte croissance de la sidérurgie mondiale est visible entre 2001 et 2006, avec un nombre d'augmentations de capacité bien plus élevé que le nombre de diminutions.

Au niveau régional, on note d'abord l'augmentation quasi-exponentielle (pourcentage constant) des capacités de production chinoises. De même, l'effet de la restructuration post-soviétique de la sidérurgie de l'ex-URSS est très marqué entre 1995 et 2000. En Europe de l'Ouest et au Japon, pour l'ensemble de la période temporelle, à l'inverse de l'Amérique du Nord, les baisses de capacités sont plus nombreuses que les augmentations. L'Afrique ainsi que l'Asie hors Chine et Japon, connaissent un essor rapide des capacités de production d'acier brut. L'évolution des capacités de production dans la sidérurgie, est donc fortement contrastée à la fois dans le temps et parmi les grands zones mondiales.

<sup>92</sup> Les usines utilisant à la fois des fours électriques et des haut-fourneaux ont été distinguées pour faciliter la modélisation par rapport à la consommation d'énergie.

<sup>93</sup> Lorsqu'une usine n'a aucune capacité, en dehors de l'année de fermeture, les observations liées ne sont pas prises en compte.

<sup>94</sup> Dans ce graphique, les baisses de capacité incluent les fermetures d'usines.



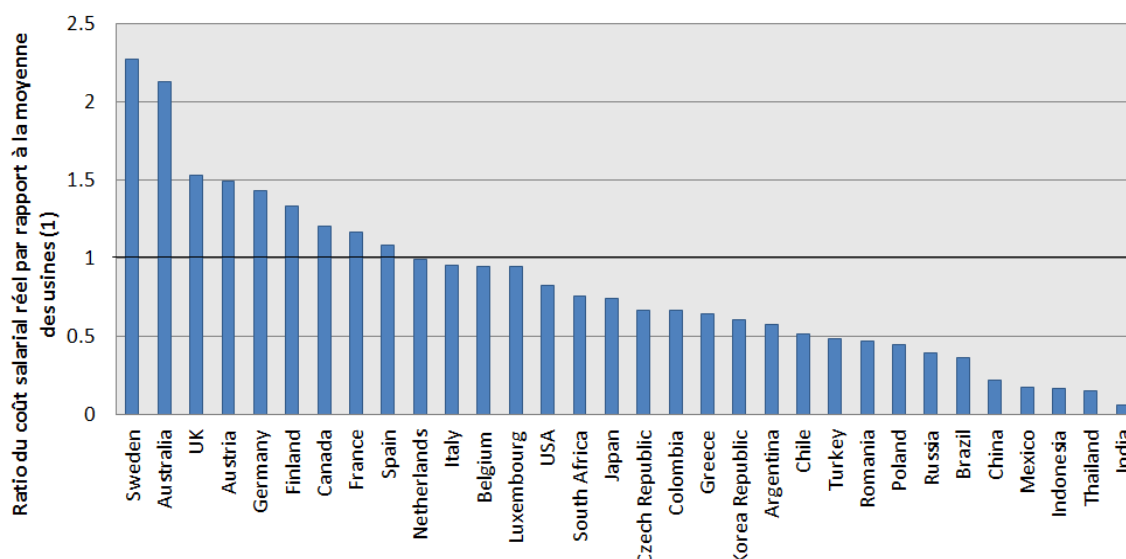
**Figure 120 : Changements de capacité dans les usines sidérurgiques par grandes régions mondiales par rapport au nombre d'usines durant l'année initiale de chaque période.**  
Sources : Estimé à partir de (King, 2011).

### *Description des variables explicatives*

Les décisions des industriels d'augmenter, ou au contraire, de réduire les capacités de production d'une usine dépendent des coûts prévus pour cette usine, dont une partie dépend de sa localisation géographique. Les coûts de production sont fortement liés aux prix des facteurs locaux que nous incluons dans le modèle de choix ordonné : coût salarial unitaire, prix de l'énergie, abondance des matières premières. Ces variables sont estimées au niveau national car il est difficile de connaître les prix exacts d'achats au niveau des usines. C'est le niveau relatif de ces coûts entre les différents pays qui importent pour la compétitivité d'un pays, ainsi ces variables sont utilisés sous la forme d'un ratio par rapport à leur moyenne annuelle parmi toutes les usines de l'étude. Ces variables sont décrites statistiquement dans le tableau 20.

Le coût salarial unitaire est, par définition, la rémunération par salarié pondérée par la productivité du travail. Le coût salarial unitaire augmente si la rémunération des salariés augmente plus rapidement que la productivité du travail, et vice versa. Nous supposons que des coûts salariaux unitaires élevés augmentent la probabilité de fermeture d'une usine et réduisent les investissements. Comme aucune donnée n'est disponible au niveau de la productivité usine par usine, nous avons préféré utiliser le ratio des salaires moyens dans la sidérurgie d'un pays par la productivité apparente moyenne du secteur dans ce pays. La figure 121 compare cette variable entre les pays de l'étude. Les valeurs affichées combinent donc à la fois les différences de salaires propres à chaque pays et celles de productivité. Notamment, les salaires aux Etats-Unis ou au Japon ne sont pas forcément plus faibles qu'en Europe de l'Ouest, mais il existe un écart important de productivité du travail dans la sidérurgie entre ces régions. On note également que malgré la faible productivité de cette industrie en Chine ou

en Inde, les coûts salariaux unitaires ne sont pas forcément élevés. Au contraire, la Suède et l'Australie sont désavantagés à la fois par des salaires élevés et par une productivité modérée. D'après le tableau 21, le coût salarial unitaire semble jouer un rôle important dans les changements de capacité, car cette variable est très faible dans les usines en croissance et élevée dans les usines en baisse de capacité.



**Figure 121 : Comparaison du coût salarial unitaire dans la sidérurgie en 2006 par rapport à la moyenne annuelle internationale (valeur 1). Sources : Estimation à partir de (Laborsta Internet, 2010) et (Worldsteel Association, 2012).**

L'avantage majeur d'une étude au niveau des usines sidérurgiques est de pouvoir distinguer les facteurs de production selon le procédé utilisé par l'usine. Les hauts-fourneaux consomment principalement du minerai de fer et du charbon métallurgique (ou coke de charbon), alors que les fours électriques utilisent surtout de l'électricité et de la ferraille. Il est donc possible d'analyser séparément l'effet des prix de l'énergie et des matières premières selon le procédé de l'usine. Une hausse des prix de l'électricité affecte surtout les fours électriques et non pas les hauts-fourneaux. La variable décrivant soit les prix de l'énergie, soit l'abondance des matières premières est alors multipliée par une constante dépendante du procédé utilisé. Donc, pour les hauts-fourneaux, les prix du charbon métallurgique ainsi que l'abondance de minerai de fer, définie comme le rapport de la production de fer sur le PIB, sont pris en compte. Pour les fours électriques, ce sont les prix de l'électricité et l'abondance de ferraille, définie comme la production (récupération) de ferraille dans le pays par rapport à son PIB, qui sont utilisés. Néanmoins, aucune donnée de consommation d'énergie n'est disponible par usine. L'utilisation des prix de l'énergie plutôt que les coûts semble donc plus pertinente.

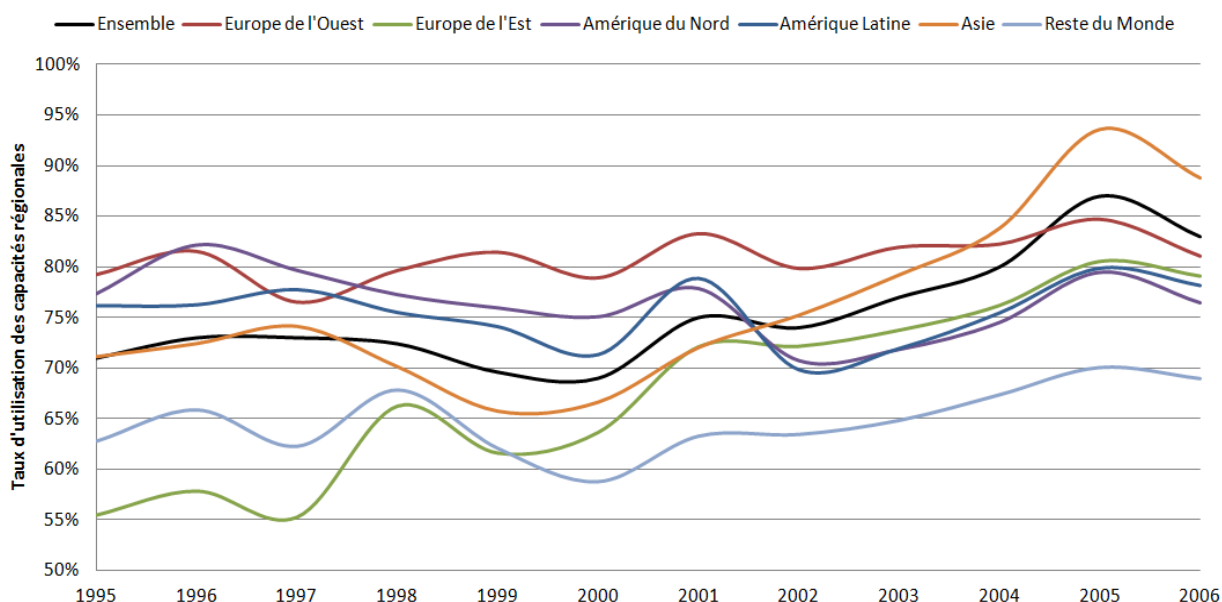
D'après l'analyse du tableau 21, ces variables semblent ne pas provoquer directement de baisse des capacités, mis à part pour l'abondance de ferraille qui est souvent plus faible dans les usines en perte de compétitivité. Cependant, ces variables semblent influencer fortement sur les choix de localisation des nouveaux investissements puisque les prix de l'énergie sont en moyenne plus faibles et l'abondance des matières premières plus élevée dans ces situations.

L'intégration de la variable sur les taux d'utilisation des capacités au niveau régional apporte une information importante sur la situation de sous-capacité ou de sur-capacité de l'industrie sidérurgique



au cours d'une année. Cette variable est définie comme le ratio de la production d'une zone géographique sur la capacité de production dans cette zone. L'utilisation des capacités l'année précédente, à  $t-1$ , permet de tenir compte de la situation de sur- ou de sous-capacité avant le changement de capacité des usines étudiées. Comme la compétition sur les marchés de l'acier se déroule principalement au niveau continental, il est plus pertinent de prendre en compte l'utilisation des capacités à ce niveau que d'un point de vue uniquement national. Par exemple, quand ArcelorMittal décide de fermer un site de production à Liège en Belgique, ce n'est pas uniquement par rapport au marché de l'acier belge mais dans une perspective européenne. On suppose alors qu'une forte utilisation des capacités favorise l'investissement dans de nouvelles capacités et inversement avec les fermetures.

La variation du taux d'utilisation des capacités régionales entre 1995 et 2006 est présentée dans la figure 122. Des écarts très significatifs de ce taux d'utilisation existent entre les différents marchés mondiaux lors d'une même année. Par exemple, en 1997, le taux d'utilisation des capacités s'élève à 80 % en Amérique du Nord alors qu'il est très faible en Europe de l'Est<sup>95</sup>, suite à la chute de l'URSS, à environ 55 %. A cette date, près de la moitié des capacités de production en Europe de l'Est ne sont pas utilisées. De même, l'évolution de ces taux est très contrastée selon les régions. L'Asie et l'Europe de l'Est connaissent entre 1995 et 2005, une très forte croissance de l'utilisation des capacités liée à la fois à une très forte demande et à une restructuration de l'offre productive. L'Amérique du Nord et l'Amérique Latine ont des évolutions remarquablement similaires, avec une perte de vitesse vis-à-vis des autres régions productrices par rapport à un niveau initial élevé, entre 1995 et 1997. L'Europe de l'Ouest profite d'un taux d'utilisation des capacités important pendant toute la période, au contraire des pays inclus dans la zone « Reste du Monde » avec un taux à la fois faible et stable. Dans l'ensemble, on note que chaque région profite des bonds de la demande mondiale, surtout en 2001 ainsi qu'entre 2003 et 2006. Quand les capacités de production saturent en Asie, la demande supplémentaire est répartie dans les autres zones de production mondiales.



**Figure 122 : Evolution du taux d'utilisation des capacités régionales entre 1995 et 2006.**

Sources : Estimé à partir de (Worldsteel Association, 2012) et (King, 2011)

<sup>95</sup> La Russie est également incluse dans la zone « Europe de l'Est ».

Néanmoins, cette variable peut engendrer des problèmes d'estimation statistique car la production d'acier dépend aussi des variables de compétitivité nationale comme cela a été démontré dans la partie précédente. On peut alors craindre un problème de multicollinéarité entre ces variables. Si l'on effectue une régression simple entre le taux d'utilisation des capacités régionales et les facteurs de production inclus dans le modèle ordonné, on trouve une corrélation faible avec un coefficient de détermination d'environ  $R^2=0.09$ . Le lien entre l'utilisation des capacités et les facteurs de compétitivité est donc faible. Cela s'explique notamment par l'ajustement des capacités, par le décalage d'un an et le niveau régional utilisé pour la variable du taux d'utilisation des capacités. Le problème de multicollinéarité n'est donc pas être très significatif. Malgré cela, il peut être intéressant de présenter les résultats sans variables nationales de coûts pour confirmer le constat précédent dans un premier temps, mais aussi pour une éventuelle intégration de l'équation obtenue dans un modèle numérique. En effet, si une première partie du modèle calcule le niveau de production en fonction des variables de compétitivité nationales, on peut alors estimer le taux d'utilisation des capacités à  $t-1$ . A partir de ce taux, on peut alors simuler les changements de capacité, usine par usine, par l'intermédiaire de ce taux d'utilisation des capacités. Deux spécifications différentes du modèle sont donc utilisées :

- Un modèle complet avec un taux d'utilisation des capacités au niveau régional et des variables nationales de coût
- Un modèle avec uniquement un taux d'utilisation des capacités au niveau régional

Enfin, des variables décrivant les caractéristiques propres à chaque usine sont également incluses. Ces facteurs permettent de distinguer la probabilité de changement de capacité de plusieurs usines au sein d'un même pays. Cinq critères sont utilisés pour différencier les usines : la capacité de production, l'intégration verticale en amont (cokerie, uniquement pour les hauts-fourneaux), intégration verticale en aval, type de produits fabriqués et le procédé utilisé. L'âge des usines est difficile à définir car il est différent pour chaque machine d'une usine avec des remises à jours plus ou moins régulières. Il serait possible de pondérer l'âge de chaque four sidérurgique pour obtenir l'âge moyen, mais c'est un choix arbitraire et les données ne sont pas assez précises. Afin d'analyser l'effet de l'âge sur les changements de capacité, il est plus pertinent de placer l'étude économétrique au niveau du four sidérurgique qui possède un âge bien défini.

La taille d'une usine est un facteur important de compétitivité du fait de la présence d'économies d'échelle importantes en sidérurgie (Beeson & Giarratani, 1998). On suppose que les usines les plus grandes ont une probabilité plus faible de fermer ou de baisser en capacité. Un facteur de capacité au carré est également ajouté afin de prendre en compte les limites de ces économies d'échelle à partir d'une taille optimale de production. Un signe négatif est donc attendu pour cette variable au carré.

Ensuite, deux variables décrivent l'intégration verticale des usines en amont et en aval. L'intégration verticale en amont reflète l'existence d'une cokerie (ou pelletisation) au sein de l'usine et concerne uniquement les hauts-fourneaux. En aval, l'intégration verticale représente la présence de processus de première transformation de l'acier dans l'usine, notamment des laminoirs. L'intégration verticale réduit la sensibilité d'une usine face aux variations des prix du marché et les potentiels problèmes de « hold-up » pour un producteur d'acier brut. Cependant, cela rend l'usine moins flexible et diminue donc sa capacité d'adaptation aux évolutions du marché. Il est donc difficile de présupposer d'un effet précis de l'intégration verticale sur les changements de capacité.

Le type de produits fabriqué par l'usine détermine la spécialisation principale de celle-ci. Les variations de la demande d'acier peuvent être très différentes selon les types d'aciers. Par exemple,

une crise dans la construction réduit la demande en acier long alors que les aciers plats sont plus sensibles à la santé de l'industrie automobile. Trois catégories sont différenciées : les aciers longs, les aciers plats et les autres types d'aciers. Enfin, le type de procédé est également introduit dans les variables explicatives du modèle, entre les procédés à fours électriques et les hauts-fourneaux. Les fours Martins traditionnels (« Open-Hearth Furnace ») ne sont pas pris en compte dans cette étude.

Variable		Description	Source	Moyenne	Ecart type	Min.	Max.
Utilisation des capacités régionales	P	Ratio de la production annuelle sur les capacités dans une zone géographique.	WorldSteel pour la production, JF. King (King, 2011) pour les capacités	1 (0.763)	0.08	0.71	1.31
Capacité de production	Wt	Capacité annuelle de production d'acier brut de l'usine	JF. King (King, 2011)	1 (1080)	1.77	0.008	16.67
Capacité au carré	Tf	Capacité annuelle de production au carré	JF. King (King, 2011)	1 (4.8e6)	4.17	1.76e-5	66.84
Coût salarial unitaire	C	Ratio des salaires annuels sur la productivité par employé (\$ <sub>2005</sub> /tonne)	Laborsta (Laborsta Internet, 2010), WorldSteel (Worldsteel Association, 2012)	1 (64.9)	0.70	0.06	9.11
Prix de l'électricité pour les fours électriques	L	Prix de l'électricité pour l'industrie (\$ <sub>2005</sub> /tep)	Enerdata	1 (998)	0.44	0.24	2.17
Prix du charbon métallurgique pour les hauts-fourneaux	Pr	Prix du charbon métallurgique pour l'industrie (\$ <sub>2005</sub> /tep)	Enerdata	1 (95.9)	0.28	0.15	2.63
Abondance de ferraille	Wo	Production de ferraille divisée par le PIB (t/1,000\$)	WorldSteel	1 (8.55)	0.807	0.01	4.96
Abondance de minerai de fer	Wp	Production de minerai de fer divisée par le PIB (t/1,000\$)	WorldSteel	1 (30.3)	1.09	0	5.09
Intégration verticale Amont	Ip	Uniquement pour hauts-fourneaux. Présence de cokerie intégrée à l'usine.	JF. King (King, 2011)	0.796	/	/	/
Intégration verticale Aval	Ec	Présence de ligne de traitement de l'acier brut intégrée à l'usine	JF. King (King, 2011)	0.560	/	/	/
Acier plat		Production d'aciers plats dans l'usine.	JF. King (King, 2011)	0.161	/	/	/
Acier long		Production d'aciers longs dans l'usine.	JF. King (King, 2011)	0.757	/	/	/

**Tableau 20 : Description statistique des variables du modèle sur les usines sidérurgiques.**  
Ces statistiques sont exprimées relativement à la moyenne annuelle internationale des usines. Le nombre d'observations pour les 1113 usines varie selon leur durée de vie entre 1996 et 2006. Cela donne un total de 11290 observations.

Variable	Total	Baisse	Hausse	Stable
Utilisation des capacités régionales	1	0.9946	1.001	1.0003
Coût salarial unitaire	1	1.354	0.721	1.002
Prix de l'électricité pour les fours électriques	1	0.997	0.767	1.000
Prix du charbon métallurgique pour les hauts-fourneaux	1	1.084	0.867	1.003
Abondance de ferraille	1	1.088	1.400	0.992
Abondance de minerai de fer	1	0.644	1.320	0.994
Intégration verticale Amont	0.796	0.625	0.797	0.798
Intégration verticale Aval	0.560	0.715	0.805	0.550
Capacité	1	0.926	2.142	0.977
Capacité au carré	1	0.899	3.118	0.956
Acier plat	0.161	0.252	0.199	0.159
Acier long	0.757	0.691	0.732	0.759

**Tableau 21 : Description de la moyenne des variables étudiées en fonction de l'évolution des usines sidérurgiques entre 1996 et 2006 (La colonne « Baisse de capacité » inclue également les fermetures d'usines).**

### iii. Spécification et estimation du modèle économétrique

Afin d'étudier les facteurs qui contribuent aux changements de capacités des usines, le modèle complet suivant est estimé, où :

- $y^*$  représente les profits attendus de l'usine (variable latente)
- $\beta$  les coefficients à estimer
- $CU^R$  le taux d'utilisation des capacités régionales
- $Cap$  les capacités annuelles de production de l'usine
- $Cap^2$  les capacités au carré
- $Sal$  le coût salarial unitaire
- $Pelec * EAF$  le prix de l'électricité pour les fours électriques
- $Pcharb * (1 - EAF)$  le prix du charbon métallurgique pour les hauts-fourneaux
- $MFer * (1 - EAF)$  l'abondance de minerai de fer pour les hauts-fourneaux
- $Frl * EAF$  l'abondance de ferraille pour les fours électriques
- $IntVAm * (1 - EAF)$  l'intégration verticale en amont pour les hauts-fourneaux
- $IntVAv$  l'intégration verticale en aval
- $AcPl$  la production principale d'aciers plats
- $AcLo$  la production principale d'aciers longs
- $EAF$  le procédé utilisé
- $\varepsilon_{it}$  le terme d'erreur résiduel

$$y^* = \beta'X + \varepsilon \quad (25)$$

$$y_{it}^* = \beta_0 + \beta_1 * CU_{it}^R + \beta_2 * Cap_{it} + \beta_3 * Cap_{it}^2 + \beta_4 * Sal_{it} + \beta_5 * Pelec_{it} * EAF_i + \beta_6 * Pcharb_{it} * (1 - EAF_i) + \beta_7 * MFer_{it} * (1 - EAF_i) + \beta_8 * Frl_{it} * EAF_i + \beta_9 * IntVAm_i * (1 - EAF_i) + \beta_{10} * IntVAv_i + \beta_{11} * AcPl_i + \beta_{12} * AcLo_i + \beta_{13} * EAF_i + \varepsilon_{it} \quad (26)$$

Suite aux choix des variables, deux spécifications du modèle sont étudiées. Pour la première spécification, le modèle complet ci-dessus est utilisé. Pour l'autre modèle, les variables nationales de coûts sont enlevées. La spécification utilisée est alors la suivante :

$$y_{it}^* = \beta_0 + \beta_1 * CU_{it}^R + \beta_2 * Cap_{it} + \beta_3 * Cap_{it}^2 + \beta_4 * IntVAm_i * (1 - EAF_i) + \beta_5 * IntVAv_i + \beta_6 * AcPl_i + \beta_7 * AcLo_i + \beta_8 * EAF_i + \varepsilon_{it} \quad (27)$$

Deux méthodes d'estimation économétrique sont présentées dans ces travaux pour le modèle ordonné, une méthode logit ordonnée avec des constantes régionales et une méthode logit avec des effets individuels aléatoires pour chaque usine. Dans la première méthode, sans effet individuel, les écart-types sont calculées de manière robuste<sup>96</sup> afin de corriger de l'hétéroscédasticité en autorisant la corrélation intragroupe. Les observations sont indépendantes entre groupes mais pas nécessairement à l'intérieur d'un même groupe. De plus, comme dans l'étude sur la localisation de la production (p.206), des constantes régionales sont utilisées pour l'Europe de l'Ouest, l'Europe de l'Est, l'Amérique du Nord, l'Amérique Latine et l'Asie. Le but est de corriger les problèmes de variables omises propres à chaque grand marché régional. Des constantes annuelles sont également introduites afin de corriger des évolutions de la conjoncture économique mondiale.

Dans la seconde méthode, un modèle avec généralisation linéaire de la variable latente est utilisée avec la fonction « GLLAMM » développée par des chercheurs indépendants pour le logiciel statistique STATA (Rabe-Hesketh et al., 2005). Ce programme permet de structurer les modèles de choix discrets sur différents niveaux individuels, notamment pour un modèle logit ordonné avec effets individuels par usine dans notre cas. Pour le calcul, une méthode d'intégration en quadrature adaptative<sup>97</sup> est utilisée, permettant d'augmenter la précision des résultats (Rabe-Hesketh & Skrondal, 2008).

Enfin, il est également possible que les usines ne réagissent pas de la même manière aux conditions économiques selon le type de procédé utilisé, fours électriques ou hauts-fourneaux. Des méthodes, similaires à celles présentées auparavant sont alors utilisées mais en effectuant une régression pour chaque type de procédé de façon indépendante.

#### 2.4.2.2) CHOIX D'UN MODELE DE SURVIE POUR ESTIMER LES FACTEURS DE FERMETURE DES FOURS SIDERURGIQUES

##### i. Méthodes d'estimation du modèle de survie

L'objectif de l'analyse des fours sidérurgiques est d'étudier l'effet des prix de l'énergie sur les risques de fermeture de fours. Afin de contrôler les autres facteurs explicatifs de la fermeture des fours, notamment l'âge technique, un modèle de durée avec variables multiples est utilisé. Parmi les modèles statistiques de survie, il existe trois grandes familles : les modèles paramétriques, semi-paramétriques et ceux non-paramétriques. Ces trois familles décrivent le risque de panne, de mort ou de fermeture

<sup>96</sup> Utilisation de la commande `vce(cluster usine)` dans Stata V11.0.

<sup>97</sup> Les formules de quadrature sont des formules pour approximer le calcul d'intégrales (Intégrales de Riemann), comme par exemple la formule des trapèzes. Dans cette formule, l'espace entre chaque intervalle d'approximation est constant. La méthode de quadrature adaptative ajuste l'intervalle de chacun des points en fonction de la variation de la fonction intégrée afin de minimiser l'erreur d'approximation. Cette méthode augmente donc la précision de l'estimation des coefficients dans les logiciels statistiques (Mathews, 2004).

pour des machines, des patients ou autres au cours du temps. La variable à laquelle on s'intéresse, dans l'analyse de la durée, est le temps qui sépare le début d'un événement de sa fin, ou du moment de son évaluation, qui peut se produire avant la fin de l'événement (Greene, 2005).

Le principal intérêt de ces modèles est de ne pas supposer une répartition normale des résidus de régression, hypothèse peu réaliste dans ces situations. Cela permet également de tenir compte de la présence de données censurées et/ou tronquées. En effet, dans l'étude des fermetures de fours sidérurgiques sur une période donnée, les dates de fermetures ne sont pas disponibles pour tout l'échantillon car tous les fours n'ont pas été fermés à la fin de la période d'observation. C'est la censure à gauche. De même, de nouveaux fours sont ouverts pendant la période d'observation, c'est la censure à droite. Ne pas prendre en compte ces observations réduit fortement le nombre de fours étudiés car ils possèdent une durée de vie d'environ 20 ans. Les modèles de survie utilisent non pas l'information sur les conditions de fermeture de ces fours, mais se basent sur l'information que ces fours sont restés ouverts pendant la période d'observation. Les procédures d'estimation ne tenant pas compte de la nature censurée des données produisent des estimations biaisées et inconsistantes (Chen, 2002).

Les trois types de modèles se différencient par rapport aux hypothèses utilisées pour modéliser le risque en fonction du temps. Dans les modèles paramétriques, la fonction de risque au temps  $t$ , avec la condition de survie à  $t-1$ , est présupposée par le modélisateur avant l'estimation. Le plus souvent des distributions de Weibull, Gompertz, exponentielles, log-log ou log-normales sont utilisées. Si la distribution correspond bien à celle observée sur les échantillons, alors l'efficacité de l'estimation est améliorée. Les modèles semi-paramétriques ne présupposent pas de cette distribution pour la fonction de risque et l'estiment à partir des données. Par contre, l'effet des variables quantitatives est uniquement de translater la fonction de risque par rapport au temps. La forme de l'effet des variables explicatives est donc présupposé, d'où le nom de semi-paramétrique. Enfin, les modèles non paramétriques ne reposent sur aucune hypothèse quant à la distribution du risque dans le temps ou sur l'effet des variables exogènes. Ces modèles ne permettent d'étudier que l'impact de variables qualitatives sans estimation quantifiée de leur effet (Cleves et al., 2010).

Dans notre étude, nous ne possédons pas d'hypothèse précise a priori sur la forme de la courbe de risque et l'objectif est de mesurer l'influence de variables quantitatives comme les prix de l'énergie sur le risque de fermeture. Les modèles semi-paramétriques sont donc les plus pertinents pour répondre à ces critères. Dans cette famille de modèles, le modèle de Cox est prépondérant (Cox, 1972). Ce type de modèle est régulièrement utilisé dans la littérature économique, notamment pour étudier la survie des entreprises (p.242). Le modèle de Cox est fréquemment choisi pour modéliser les durées parce qu'il représente un compromis raisonnable entre les méthodes non paramétriques (ex. Kaplan-Meier) et les modèles paramétriques, qui peuvent être structurés de façon excessive (Greene, 2005).

Pour décrire le fonctionnement de ces modèles de Cox, supposons que la durée de vie d'un individu est une variable aléatoire  $T$  (Greene, 2005). On fait alors l'hypothèse que  $T$  a une distribution de probabilité continue  $f(t)$  où  $t$  est une réalisation de  $T$ . La fonction de répartition est alors :

$$F(t) = \int_0^t f(u)du = \Pr(T \leq t) \quad (28)$$

On peut alors définir une fonction de survie qui est la probabilité que  $T$  soit au moins supérieur à  $t$  :

$$S(t) = 1 - F(t) = \Pr(T > t) \quad (29)$$

Alors, on peut formuler  $f(t)$  de la manière suivante, (Cleves et al., 2010) :

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \frac{d}{dt}\{1 - S(t)\} = -S'(t) \quad (30)$$

On définit alors la fonction de risque,  $h(t)$ , qui est la probabilité qu'une fermeture intervienne dans un intervalle donné, sous condition de survie jusqu'au début de cet intervalle, le tout divisé par la durée de cette intervalle de temps :

$$h(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Pr(t + \Delta t > T > t | T > t)}{\Delta t} = \frac{f(t)}{S(t)} \quad (31)$$

La fonction de risque cumulé, le montant de risque accumulé jusqu'à un temps  $t$ , est alors:

$$H(t) = \int_0^t h(u) du = -\ln(S(t)) \quad (32)$$

Ces définitions s'appliquent à tous les modèles de durée, quelque soit la famille de modèles. Le modèle de Cox s'interprète alors comme l'analyse d'un risque de fermeture binaire, répétée pour chaque période de temps observée, avec la contrainte que les coefficients de régression soient communs à toutes les périodes (Cleves et al., 2010). On définit alors la fonction de risque de la manière suivante :

$$h(t) = h_0(t) * \exp(\mathbf{x}_j \beta_x) \quad (33)$$

Dans le modèle de Cox, la fonction de risque de base  $h_0(t)$ , qui représente l'hétérogénéité individuelle, n'est pas spécifiée. En fait, cette fonction de risque n'est pas estimée avec l'utilisation d'un estimateur de vraisemblance partielle (Greene, 2005). L'estimation des coefficients de régression est alors basée sur la maximisation de la log-vraisemblance totale du modèle (Cleves et al., 2010).

Un des avantages de cette méthode est de pouvoir prendre en compte de l'évolution des conditions techniques et économiques du four sidérurgique au cours du temps. De nombreuses recherches ont seulement utilisé des informations définies pour une année précise, en les étendant à toute l'étude (Beeson & Giarratani, 1998; Deily, 1991). Or, lorsqu'on traite avec des modèles de durée, il est probable que certaines variables explicatives varient selon les années. Le fait de n'utiliser que des variables fixes dans le temps diminue donc la qualité de la description des conditions techniques et économiques de la fermeture. Notamment pour les prix de l'énergie, ou pour le taux d'utilisation des capacités, la situation économique peut varier rapidement d'une année à l'autre. Le fait d'utiliser des variables datant de plusieurs années ne permet donc pas d'analyser l'impact de telles variables.

## ii. Choix et définitions des variables pour le modèle de survie

Dans le modèle de survie, la définition de la variable endogène est simple. Il n'est pas possible d'intégrer plusieurs choix dans la variable expliquée, elle doit être binaire. Comme l'objectif de l'étude est d'analyser le rôle des prix de l'énergie sur la compétitivité des usines et des fours sidérurgiques selon la localisation géographique, l'analyse se concentre sur la fermeture des fours plutôt que sur leur remise à jour. En effet, il est difficile d'estimer la différence de compétitivité entre



le renouvellement d'un four et son maintien en opération, si l'âge technique ne nécessite pas de remise à jour. On suppose dans cette étude que la fermeture anticipée d'un four sidérurgique décrit un manque de compétitivité du four. L'investissement dans un four sidérurgique induit des coûts irrécupérables (« sunk cost ») importants qui sont amortis sur le cycle de vie du four. Un industriel anticipe donc la fermeture d'un four que si les pertes liées à son maintien sont supérieures à la perte de la valeur amortie du four (Deily, 1988). En conséquence, l'étude se limite aux fermetures de fours sidérurgiques et ne distingue pas les remises à jours des cas de stabilité (non-événement). De plus, la base de données utilisée ne décrit la remise à jour des fours sidérurgiques qu'à partir de 1970. Pour des dates antérieures, il est possible d'obtenir la date d'ouverture mais pas la date des possibles remises à jours. Les fours sidérurgiques inclus dans l'étude sont donc uniquement ceux qui ont ouvert ou qui ont été remis à jour après 1970.

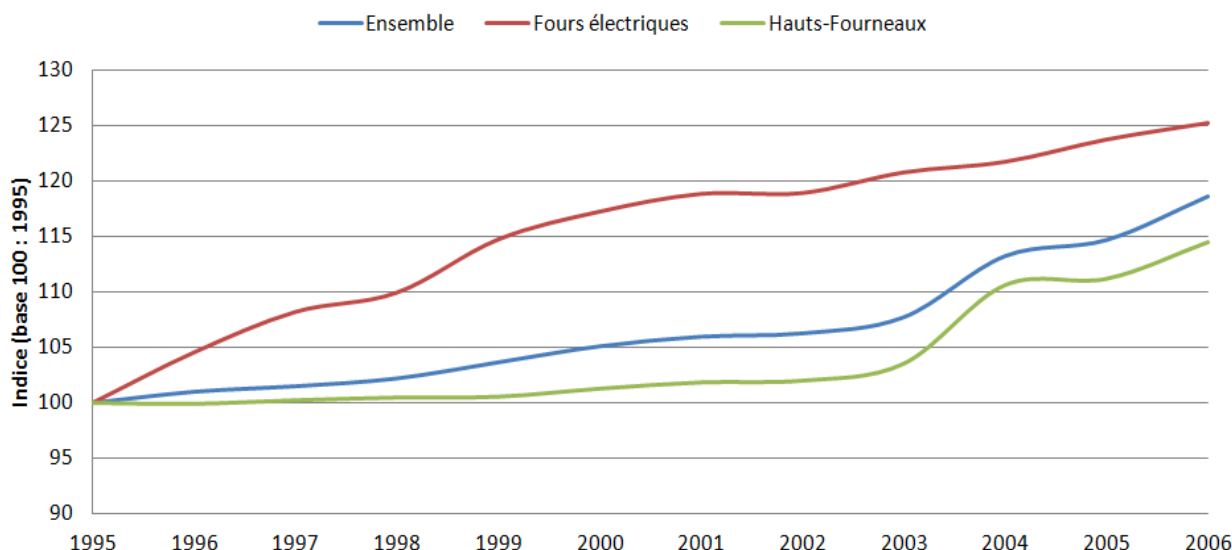
Il est également difficile de définir l'âge technique d'un four suite à une remise à jour. Cet âge dépend de l'ampleur de cette remise à jour et donc des fonds investis. Cependant, les données sur la nature de ces remises à jour ne sont pas disponibles. On suppose alors arbitrairement que l'âge technique d'un four après toute remise à jour est équivalent à celui d'un nouvel investissement.

Le choix des variables explicatives est proche de celui pour le modèle logit ordonné présenté précédemment mais il est adapté à l'échelle du four sidérurgique et non plus de l'usine. Afin de modéliser les conditions économiques au niveau national et régional, les variables de prix de l'énergie, d'abondance des matières premières<sup>98</sup>, de coût unitaire du travail et du taux d'utilisation des capacités régionales sont utilisées à nouveau. Pour rappel, ces variables sont définies en tant que moyennes nationales ou régionales et ne sont donc pas spécifiques à chaque usine. De même, c'est toujours le ratio d'une variable par rapport à la moyenne mondiale sur une année qui est utilisée dans le modèle afin de corriger des effets temporels. Néanmoins, la moyenne n'est plus estimée ici entre les usines mais entre les fours sidérurgiques (Tableau 22).

Pour décrire les caractéristiques propres à chaque four, quatre critères sont introduits : la taille du four, le nombre de fours dans l'usine, le procédé utilisé et le type de produits fabriqués. La sidérurgie est une industrie avec des économies d'échelle importantes. La taille d'une unité de production augmente donc l'efficacité de la production et réduit le risque de fermeture : « *Competitiveness*<sup>99</sup>, as measured by the ratio of plant average cost per tonne to best practice cost per tonne, can be shown to be positively related to the scale of production as well as the cost of essential inputs » (Crompton & Lesourd, 2008, p.74). La taille des fours sidérurgiques a constamment augmenté au cours du temps (Figure 123). Les fours électriques plus récents possèdent toujours une taille inférieure (environ 400kt par an) aux hauts-fourneaux (1350 kt par an). Néanmoins, la taille moyenne des fours à arc électriques a plus rapidement augmenté que celle des hauts-fourneaux entre 1995 et 2006. Ainsi, il existe une forte tendance à l'accroissement des capacités dans la sidérurgie. Les usines les plus anciennes perdent en compétitivité à cause de leur âge mais aussi d'une plus faible taille.

<sup>98</sup> Pour l'énergie et les matières premières, les procédés des fours électriques et des hauts-fourneaux sont différenciés.

<sup>99</sup> Pour l'industrie sidérurgique.



**Figure 123 : Evolution de la taille moyenne des fours sidérurgiques dans le monde en indice (base 100 : 1995). Sources : Estimé à partir de (King, 2011)**

Les économies d'échelle ne se limitent pas à la taille du four sidérurgique mais dépendent également de la taille de l'usine dans laquelle est situé ce four. En effet, pour un four sidérurgique, les économies d'échelle proviennent principalement de la relation entre surface et volume d'une cuve de production. Le coût de construction est souvent proportionnel à la surface extérieure, alors que la capacité varie linéairement avec le volume. Le degré d'économies d'échelle lié à cet effet est alors de 1.5 (Peaucelle, 2000). Au niveau de l'usine, ce sont surtout des économies d'échelle liées à l'organisation, au partage des coûts administratifs et de logistique qui interviennent. Une usine avec plusieurs fours peut mettre en commun ces facteurs afin de réduire les coûts. Pour approximer la taille de l'usine, le nombre de fours présents dans une même usine est donc utilisé. Par exemple, il est avantageux de partager les frais de développement d'un terminal ferroviaire ou maritime parmi plusieurs unités de production au sein d'une même usine.

Les procédés sont fortement différenciés dans la production d'acier. La technologie mise en place dans les hauts-fourneaux nécessite des moyens techniques très différents de ceux des fours à arc électrique. Il est peu probable que ces deux procédés aient un cycle de vie commun. Il est donc essentiel de distinguer la technologie utilisée dans cette étude. Deux méthodes sont alors possibles : l'une consistant à considérer une analyse stratifiée<sup>100</sup> et l'autre à estimer deux modèles différents (un pour les hauts-fourneaux, un pour les fours électriques). Dans le premier cas, les coefficients de régression sont communs aux deux procédés et dans le second, ils diffèrent pour chaque procédé.

Enfin, comme pour les usines, le type d'acier produit définit le marché d'un four industriel et donc sa fragilité face aux variations de la demande en acier : les clients industriels de l'acier sont distincts selon l'acier considéré : long, plat ou autres. Cependant, peu d'usines produisant des aciers « autres » ont fermé pendant la période d'observation, ce qui rend l'estimation difficile. En conséquence, seule la distinction des aciers plats par rapport aux autres aciers est incluse.

<sup>100</sup> Dans l'analyse stratifiée, la fonction de risque de base  $h_0(t)$  est distincte selon chaque strate, chaque groupe (Cleves et al., 2010). C'est-à-dire que l'hypothèse de proportionnalité des risques n'est vérifiée que pour les individus d'une même strate. Néanmoins, la minimisation de la log-vraisemblance pour l'estimation des coefficients de régression est effectuée en commun entre les strates. Chaque groupe possède les mêmes coefficients.

Variable		Description	Source	Moyenne	Ecart type	Min.	Max.
Utilisation des capacités régionales	P	Ratio de la production annuelle sur les capacités dans une zone géographique.	WorldSteel pour la production, JF. King (2011) pour les capacités	1 (0.754)	0.09	0.72	1.33
Capacité de production	Wt	Capacité annuelle de production d'acier brut de la machine (kt/an)	JF. King (2011)	1 (738)	0.98	0.012	7.33
Nombre de fours dans l'usine	Tf	Nombre de fours distincts dans l'usine	JF. King (2011)	1 (5.41)	1.03	0.18	6.63
Coût salarial unitaire	C	Ratio des salaires annuels sur la productivité par employé (\$ <sub>2005</sub> /tonne)	Laborsta (2010), WorldSteel (2012)	1 (64.9)	0.76	0.06	9.84
Prix de l'électricité pour les fours électriques	L	Prix de l'électricité pour l'industrie (\$ <sub>2005</sub> /tep)	Enerdata	1 (842)	0.44	0.28	2.58
Prix du charbon métallurgique pour les hauts-fourneaux	Pr	Prix du charbon métallurgique pour l'industrie (\$ <sub>2005</sub> /tep)	Enerdata	1 (97.5)	0.32	0.14	2.92
Abondance de ferraille	Wo	Production de ferraille divisée par le PIB (t/1,000\$)	WorldSteel	1 (12.44)	1.43	0.01	15.06
Abondance de minerai de fer	Wp	Production de minerai de fer divisée par le PIB (t/1,000\$)	WorldSteel	1 (32.98)	1.06	0	4.81
Acier plat		Production d'aciers plats par la machine	JF. King (2011)	0.226	/	/	/
Acier long		Production d'aciers longs par la machine	JF. King (2011)	0.716	/	/	/

**Tableau 22 : Description statistique des variables du modèle sur les fours sidérurgiques. Ces statistiques sont exprimées relativement à la moyenne annuelle internationale des fours. Le nombre d'observations pour les 993 fours varie selon leur durée de vie entre 1996 et 2006. Cela donne un total de 9589 observations.**

Les tableaux suivants (23, 24 et 25) présentent les statistiques principales sur la durée de vie de l'échantillon de fours étudié. Le premier tableau décrit l'ensemble des fours sidérurgiques, les deux autres sont spécifiques au type de procédé. Le nombre d'observations ainsi que le nombre de fours étudiés sont précisés (623 fours à arc électrique, 370 hauts-fourneaux). La durée de vie moyenne d'un four sidérurgique est d'environ 23.5 ans, avec un maximum de 36 ans (limite minimum à 1970 dans les données). La durée de vie moyenne est supérieure de deux ans pour les hauts-fourneaux par rapport aux fours à arc électrique. Les variations concernant l'âge de fermeture sont larges pour les deux types de procédés.

Pour rappel, sitôt qu'un four est remis à jour, il est considéré comme un autre four dans l'analyse numérique. De plus, cette remise à jour n'est pas comptée comme une fermeture. Ainsi, le taux de fermeture (« failures ») est plutôt faible, les fours sont plus souvent remis à jour que fermés. Néanmoins, environ 12 % des fours observés ont fermé pendant la période d'observation, soit un total de 116 (85 fours électriques, 31 hauts-fourneaux).

category	total	per subject			
		mean	min	median	max
no. of subjects	993				
no. of records	9589	9.656596	1	11	11
(first) entry time		13.82175	0	15	25
(final) exit time		23.47835	2	25	36
subjects with gap	0				
time on gap if gap	0				
time at risk	9589	9.656596	1	11	11
failures	116	.1168177	0	0	1

**Tableau 23 : Description de la durée de vie des fours sidérurgiques inclus dans l'étude. Les fours électriques et les hauts-fourneaux sont comptabilisés ensembles.**

category	total	per subject			
		mean	min	median	max
no. of subjects	623				
no. of records	6029	9.677368	1	11	11
(first) entry time		12.97753	0	14	25
(final) exit time		22.6549	2	24	36
subjects with gap	0				
time on gap if gap	0				
time at risk	6029	9.677368	1	11	11
failures	85	.1364366	0	0	1

**Tableau 24 : Description de la durée de vie des fours électriques inclus dans l'étude.**

category	total	per subject			
		mean	min	median	max
no. of subjects	370				
no. of records	3560	9.621622	1	11	11
(first) entry time		15.24324	0	17	25
(final) exit time		24.86486	4	26.5	36
subjects with gap	0				
time on gap if gap	0				
time at risk	3560	9.621622	1	11	11
failures	31	.0837838	0	0	1

**Tableau 25 : Description de la durée de vie des hauts-fourneaux inclus dans l'étude.**

## iii. Spécification et estimation du modèle économétrique de survie des fours sidérurgiques

En reprenant, la formulation standard de la fonction de risque pour les modèles semi-paramétriques de Cox (Cox, 1972), le modèle suivant est étudié, où :

- $h(t)$  représente la fonction de risque à  $t$
- $\beta$  les coefficients à estimer
- $CU^R$  le taux d'utilisation des capacités régionales
- $CapFour$  les capacités annuelles de production du four
- $NbreFour$  le nombre de fours présents dans l'usine
- $Sal$  le coût salarial unitaire
- $Pelec * EAF$  le prix de l'électricité pour les fours électriques
- $Pcharb * (1 - EAF)$  le prix du charbon métallurgique pour les hauts-fourneaux
- $MFer * (1 - EAF)$  l'abondance de minerai de fer pour les hauts-fourneaux
- $Frl * EAF$  l'abondance de ferraille pour les fours électriques
- $AcPl$  la production principale d'acier plat
- $AcLo$  la production principale d'acier long

$$h(t) = h_0(t) * \exp (\beta_1 * CU_{it}^R + \beta_2 * CapFour_{it} + \beta_3 * NbreFour_{it} + \beta_4 * Sal_{it} + \beta_5 * Pelec_{it} * EAF_i + \beta_6 * Pcharb_{it} * (1 - EAF_i) + \beta_7 * MFer_{it} * (1 - EAF_i) + \beta_8 * Frl_{it} * EAF_i + \beta_{11} * AcPl_i + \beta_{12} * AcLo_i) \quad (34)$$

Trois modèles sont estimés pour cette étude, l'un regroupant les données sur les deux types de procédés (haut-fourneau, four à arc électrique) et les deux autres spécifiques à chacun de ces procédés. Dans le premier modèle, une stratification différente est utilisée pour chaque type de procédé. Dans tous les modèles, un ajustement robuste de l'estimation des écarts-types est effectué pour corriger des effets d'hétéroscédasticité<sup>101</sup>. Des constantes régionales<sup>102</sup> et temporelles sont utilisées pour prendre en compte de l'hétérogénéité des marchés régionaux et des tendances conjoncturelles communes.

De plus, la méthode de Cox repose sur une hypothèse de proportionnalité des risques, l'effet d'une variable est similaire à une translation de la courbe de risque. Les effets d'une variable restent constants au cours du temps. Cette hypothèse peut ne pas être vérifiée selon les données. Pour analyser ce problème, un test basé sur l'étude des résidus de Schoenfeld<sup>103</sup> est effectué. L'idée générale est d'obtenir les résidus de la régression et de vérifier s'il existe une tendance temporelle. Si une relation existe entre ces résidus et le temps alors l'hypothèse de proportionnalité des risques n'est pas vérifiée, le modèle de Cox n'est pas valable (Cleves et al., 2010).

<sup>101</sup> Fonction `vce(robust)` dans Stata v11.1

<sup>102</sup> Europe de l'Ouest, Europe de l'Est et Russie, Amérique du Nord, Amérique Latine, Asie, Reste du Monde.

<sup>103</sup> Pour un modèle de survie, les résidus de Schoenfeld sont définis comme la différence entre la valeur d'une variable explicative lors d'une fermeture avec la moyenne pondérée, selon le risque estimé, des valeurs de cette variable pour tous les sujets à risque lors de cette même fermeture (Cleves et al., 2010). La commande « `stphptest, detail` » est utilisée pour réaliser ce test dans Stata v11.1.

Les résultats des modèles pour ce test de Shoenfeld sont mitigés (Annexe B). Seul le modèle uniquement sur les fours à arc électrique satisfait pleinement l'hypothèse de proportionnalité des risques. Pour le modèle combinant les deux types de procédés, le test global est peu significatif. Les résultats du modèle de Cox sont alors incertains. De même, le modèle sur les hauts-fourneaux fournit des valeurs d'estimation aberrantes ( $>1 \cdot 10^{11}$ ) pour les constantes régionales. Cela provient probablement du trop faible nombre de fermetures observées dans certaines régions. Si on enlève ces constantes régionales du modèle, l'hypothèse de proportionnalité des risques n'est alors plus du tout respectée.

En conclusion, seul le modèle sur les fours à arc électriques répond aux hypothèses du modèle de Cox. Ainsi, seuls les résultats de ce modèle sont présentés dans la section suivante. Pour le modèle combinant les deux procédés, les tests ne sont pas significativement concluants (à 10 %). Enfin, pour le modèle sur les hauts-fourneaux, le modèle de Cox ne fonctionne pas, principalement à cause du manque d'observations de fermeture. Les résultats ne sont donc pas présentés car non valables.

### 2.4.3) RESULTATS : DES PRIX ELEVES DE L'ENERGIE AUGMENTENT LES RISQUES DE FERMETURE DES CAPACITES SIDERURGQUES

Les résultats des deux études au niveau des usines dans un premier temps, puis au niveau des fours sidérurgiques font apparaître trois nouveaux facteurs majeurs de compétitivité dans la sidérurgie, propres à ces deux échelles d'analyse : la taille et les économies d'échelle, le taux d'utilisation des capacités de production et l'âge technique. Les coûts de production sont également des déterminants importants des choix de localisation des changements de capacité dans cette industrie, notamment les prix de l'énergie. Ces travaux confirment donc les conclusions des études précédentes sur les facteurs de la compétitivité dans le secteur sidérurgique et apportent une dimension supplémentaire sur ce qui détermine l'évolution locale des usines.

#### 2.4.3.1) LA TAILLE DES CAPACITES A UN EFFET PRIMORDIAL SUR LA LOCALISATION DES CHANGEMENTS DE CAPACITE

Les résultats sont présentés sous la forme de rapports des chances (« Odds ratio ») pour chaque variable. Cela permet d'interpréter l'effet de la variation d'une unité d'une variable explicative sur la probabilité de choix d'une catégorie supérieure : baisse pour fermeture, stabilité pour baisse et hausse pour stabilité. La valeur de ce rapport des chances ne change pas selon le choix de départ. Ce rapport peut être interprété de la manière suivante : *« pour une augmentation unitaire d'une variable explicative  $x_k$ , la probabilité d'un choix d'ordre supérieur comparé à un choix d'ordre inférieur est modifié par le facteur  $\exp(-\beta_k)$ , toutes variables étant égales par ailleurs »* (Long & Freese, 2006, p.217). Si la variation de la variable explicative est différente d'une unité, soit  $\delta_k$ , alors le changement de probabilité est équivalent à  $\exp(-\delta_k \cdot \beta_k)$ . Avec cette interprétation, un résultat positif ne peut pas être directement comparé à un résultat négatif, en effet il existe une relation inverse entre les deux. Par exemple, un facteur négatif de 0.5 a la même ampleur qu'un facteur positif de  $2 = 1/0.5$  (Long & Freese, 2006). Pour rappel, toutes les variables explicatives incluses dans le modèle sont relatives à la moyenne annuelle dans toutes les usines sidérurgiques de l'échantillon.

Tout d'abord, pour chacun des modèles présentés, un test de Wald vérifie la significativité globale du modèle de régression. L'hypothèse que les coefficients de régression de toutes les variables explicatives soient tous nuls est rejetée. Ensuite, les résultats sont d'une très grande similarité entre les modèles ordonnés logit avec des écarts-types robustes par groupe et les modèles avec effets individuels « GLAMM ». Certains coefficients varient légèrement, mais de manière générale les résultats sont similaires. Enfin, pour évaluer la qualité de représentation des modèles, il n'existe pas de définition précise et globalement acceptée du coefficient de détermination. Malgré tout, parmi les nombreux pseudo-coefficients de détermination existant, le pseudo-coefficient de détermination  $R^2$  de McKelvey et Zavoina est considéré comme le plus pertinent pour les modèles ordonnés (Hagle & Mitchell, 1992; Long & Freese, 2006; Windmeijer, 1995). « *The McKelvey-Zavoina Pseudo- $R^2$  is the best estimator for the "true  $R^2$ s" of the OLS regression* » (Wolfgang, 2000, p.18). En utilisant cette définition du pseudo-coefficient de détermination, on obtient des valeurs satisfaisantes, autour de 0.20, pour ce type de données sur très nombreux groupes. Le modèle sur les hauts-fourneaux modélise d'ailleurs mieux les changements de capacité que les deux autres modèles.

D'après les résultats présentés dans le tableau 26, l'effet de taille apparaît comme un facteur majeur dans la détermination des changements de capacité. Les usines de petite taille ont une probabilité plus importante de baisser de capacité ou de fermer, quelque soit le procédé technologique utilisé. Toutefois, cet effet est plus marqué pour les usines à hauts-fourneaux que pour les usines avec des fours à arc électrique. La probabilité d'un choix de catégorie supérieure, d'investissement au lieu d'une stabilité ou de stabilité si baisse de capacité, est environ 4 fois supérieure pour une usine qui est deux fois plus grande que la moyenne internationale (IC.95 = [2.07 ; 7.16]). Inversement, une taille d'usine inférieure de 10 % à la moyenne annuelle internationale, implique une probabilité de baisse de capacité supérieure de 14 % par rapport à la probabilité d'un choix de stabilité (IC.95 = [7 % ; 17.9 %]). Pour une usine avec des fours à arc électrique, la probabilité d'un choix de catégorie supérieure est environ 2.2 fois supérieure pour une usine de taille deux fois plus grande que la moyenne. Au contraire, une usine de taille 10 % inférieure à la moyenne a une probabilité supérieure d'environ 8 % de baisser de capacité ou de fermer.

Puisque la variable de capacité au carré des usines est introduite, il est alors possible d'estimer à la fois les économies d'échelles avec le terme linéaire et les déséconomies d'échelle avec le terme quadratique. Une capacité optimale de production peut alors être calculée pour les usines à hauts-fourneaux et pour les usines à arc électrique. Pour cela, on considère que la capacité optimale se situe là où la variable latente atteint un maximum en fonction des variables de capacités, toutes autres variables étant égales par ailleurs. Or la variable latente définit le choix ordonné entre l'investissement, la stabilité, la baisse et la fermeture des capacités. Cette variable représente la compétitivité d'une usine par rapport aux autres sites de production. Il faut toutefois noter que cette variable ne possède pas de métrique ; une variation d'une unité de la variable latente n'indique pas de variation interprétable.

Les figures 124 et 125 indiquent à la fois l'effet sur la variable latente  $y^*$  de la variable de capacité, de la capacité au carré et de ces deux variables combinées. La répartition en quantile des capacités de production dans le monde est également présentée. On estime alors la capacité optimale à environ 7200 kt/an pour une usine à hauts-fourneaux et à environ 900 kt/an pour une usine avec des fours à arc électrique. Pour les usines à hauts-fourneaux, 10 % des usines dans le monde sont au-dessus de cette capacité optimale. Cette proportion est d'environ 20 % pour les usines avec des fours à arc électrique. On note également une zone optimale de capacité dans laquelle la variable latente évolue peu selon les



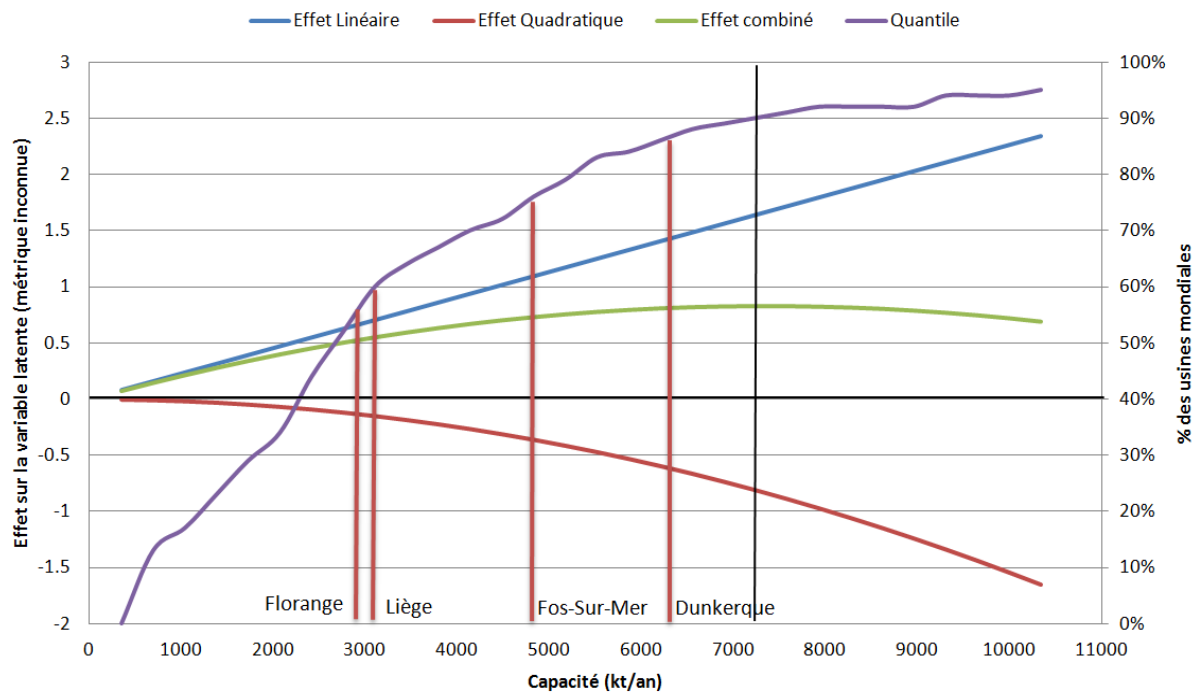
variations de la capacité de l'usine : entre 4000 et 10000 kt/an pour les usines à hauts-fourneaux et entre 550 et 1300 kt/an pour les usines à arcs électriques. Dans cette zone, un changement de capacité modifie peu les économies d'échelle au niveau de l'usine. De plus, pour le modèle sur les usines à hauts-fourneaux, la situation en 2006 de quatre usines en France et en Belgique est représentée. Il apparaît clairement que les deux usines fermées ou en arrêt de longue durée en 2012 (Florange et Liège) possèdent des capacités totales nettement inférieures à la capacité optimale de production et en-dessous de la zone d'efficacité décrite précédemment. La faible capacité de production de ces usines, et donc des économies d'échelles plus faibles, peuvent en partie expliquer leur moindre compétitivité et donc leur fermeture par rapport à d'autres sites proches comme Fos-sur-Mer ou Dunkerque.

Ensuite, le taux d'utilisation des capacités de production régionales semble avoir un effet important dans les modèles intégrant tous les procédés de fabrication ou seulement les usines à hauts-fourneaux. Cependant, les variations de ce facteur sont beaucoup plus faibles que celles des autres variables explicatrices. Comme le montre la figure 126, une variation d'un écart-type du taux d'utilisation des capacités augmente d'environ 19 % la probabilité d'un choix de catégorie supérieur ( $IC.95 = [4.1 \% ; 36.7 \%]$ ). Ainsi, un phénomène de sous-capacité de production dans une zone géographique encourage l'investissement dans de nouvelles capacités de production. Inversement, un problème de sur-capacité de production favorise les baisses et les fermetures de capacité. Cependant, le taux d'utilisation des capacités régionales n'est pas significatif dans le modèle sur les fours à arc électrique

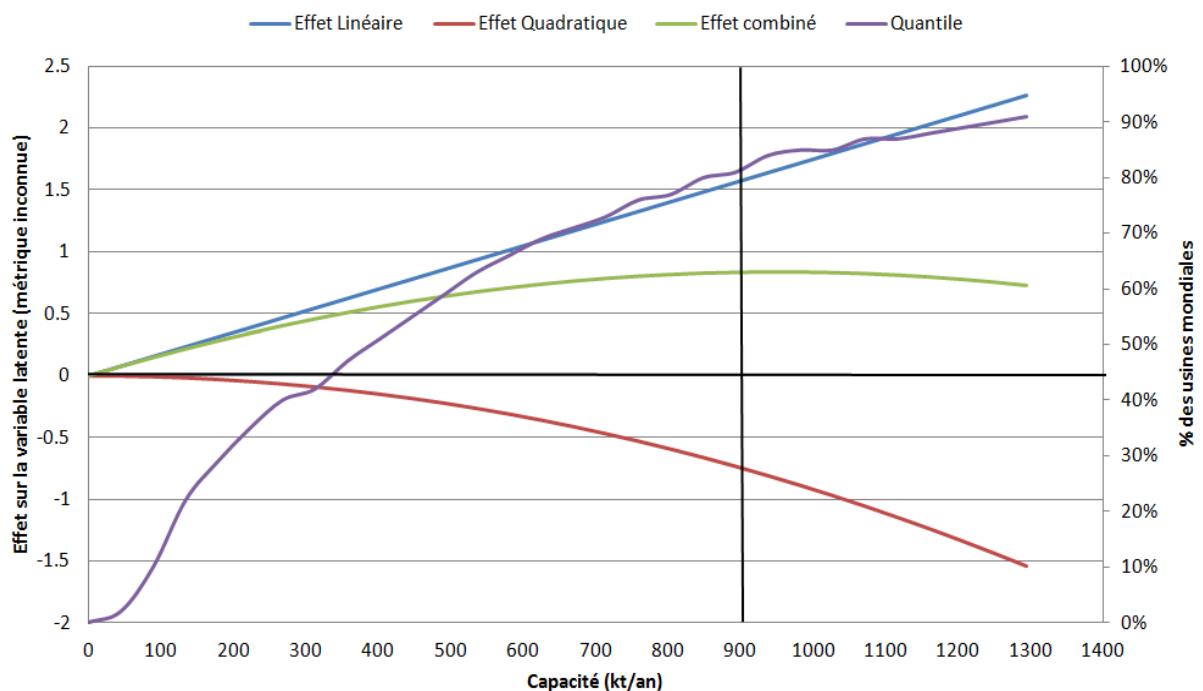
Choix: 0 : Fermeture 1 : Baisse de capacité 2 : Stabilité 3 : Augmentation de capacité	Tous procédés		Fours électriques		Hauts-fourneaux	
	Logit Ordonné	GLLAM Logit Ord.	Logit Ordonné	GLLAM Logit Ord.	Logit Ordonné	GLLAM Logit Ord.
<i>Taux d'utilisation des capacités régionales</i>	8.91*** (2.55)	8.77*** (2.50)	2.87 (1.03)	2.86 (1.03)	23.11* (1.84)	23.12* (1.83)
<i>Procédé EAF</i>	0.414 (-1.46)	0.416 (-1.43)	/ /	/ /	/ /	/ /
<i>Capacité annuelle EAF</i>	2.24*** (6.79)	2.28*** (6.77)	2.18*** (6.32)	2.19*** (6.28)	/ /	/ /
<i>Capacité annuelle BOF</i>	3.85*** (4.26)	4.15*** (4.12)	/ /	/ /	5.93*** (5.13)	5.98*** (3.80)
<i>Capacité annuelle au carré EAF</i>	0.935*** (-4.09)	0.934*** (-4.13)	0.833*** (-3.85)	0.832*** (-3.88)	/ /	/ /
<i>Capacité annuelle au carré BOF</i>	0.838*** (-2.64)	0.825*** (-2.56)	/ /	/ /	0.621*** (-3.68)	0.619** (-2.53)
<i>Coût salarial unitaire</i>	0.477*** (-8.37)	0.470*** (-8.06)	0.527*** (-6.63)	0.526*** (-6.56)	0.396*** (-3.12)	0.395*** (-3.10)
<i>Prix de l'électricité EAF</i>	0.479*** (-4.82)	0.475*** (-4.83)	0.487*** (-4.52)	0.486*** (-4.59)	/ /	/ /
<i>Prix du charbon métallurgique BOF</i>	0.151*** (-4.09)	0.151*** (-3.98)	/ /	/ /	0.495 (-1.10)	0.496 (-1.04)
<i>Abondance de ferraille EAF</i>	0.930 (-0.59)	0.933 (-0.54)	1.09 (0.60)	1.09 (0.60)	/ /	/ /
<i>Abondance de minerai de fer BOF</i>	1.25* (1.93)	1.25* (1.90)	/ /	/ /	1.07 (0.38)	1.06 (0.38)
<i>Intégration verticale en amont BOF</i>	1.01 (0.03)	0.987 (-0.03)	/ /	/ /	0.882 (-0.34)	0.88 (-0.35)
<i>Intégration verticale en aval</i>	0.952 (-0.33)	0.936 (-0.41)	0.823 (-1.23)	0.820 (-1.18)	1.51 (0.79)	1.52 (-0.79)
<i>Aciers Plats</i>	0.715* (-1.69)	0.710* (-1.70)	1.35 (1.20)	1.34 (1.16)	0.316*** (-3.56)	0.315*** (-3.52)
<i>Autres Aciers</i>	1.24 (1.04)	1.26 (1.08)	1.23 (0.294)	1.23 (0.29)	1.18 (0.41)	1.18 (0.42)
<i>Effets fixes temporels</i>	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
<i>Effets fixes par zone géographique</i>	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
<i>Effets aléatoires par usine</i>	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui
<i>Nbre. d'observations</i>	11290	11290	9090	9090	2200	2200
<i>Nbre. d'usines</i>	1113	1113	893	893	220	220
<i>Nbre. de variables estimées</i>	30	30	24	24	25	25
<i>McKelvey &amp; Zavoina's R<sup>2</sup></i>	0.211	/	0.181	/	0.423	/
<i>Log-pseudovraisemblance</i>	-1725.03	-1724.76	-1320.55	-1320.54	-372.07	-372.07

z-statistique entre parenthèse, \* ( $P > |z| < 0.10$ ), \*\* ( $P > |z| < 0.05$ ), \*\*\* ( $P > |z| < 0.01$ )

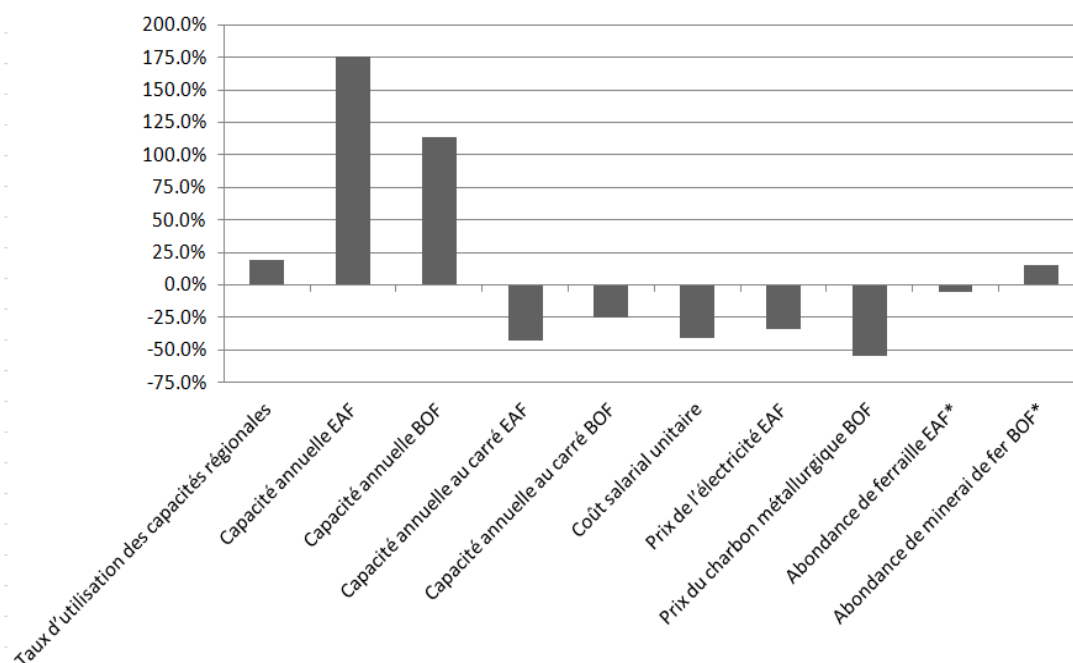
**Tableau 26 : Résultats du modèle ordonné complet sur les usines sidérurgiques. GLLAM représente les modèles logit ordonnés avec des effets individuels aléatoires. EAF = Fours à arc électrique (Electric Arc Furnace), BOF : Hauts-Fourneaux (Basic Oxygen Furnace). Résultats sous la forme de rapports des chances (« Odds ratio ») pour chaque variable**



**Figure 124 : Estimation de la capacité optimale d'une usine sidérurgique à hauts-fourneaux. Quatre usines françaises et belges sont comparées par rapport à leur capacité de production en 2006.**



**Figure 125 : Estimation de la capacité optimale d'une usine sidérurgique à arcs électriques**



**Figure 126 : Effet d'une augmentation d'un écart-type des variables explicatives continues sur la probabilité d'un choix de catégorie supérieure**

L'effet des prix de l'électricité est significatif pour les fours à arc électrique. Une hausse des prix de l'électricité dans un pays diminue la probabilité d'investissement dans les usines à fours électriques d'un pays et augmente le risque de fermeture. La figure 127 décrit l'évolution des probabilités annuelles et décennales d'investissement et de baisse de capacité (somme des probabilités de baisse de capacité et de fermeture) dans une usine à arc électrique selon les prix de l'électricité par rapport à la moyenne annuelle internationale. Pour le calcul de la probabilité décennale, la probabilité estimée représente la probabilité d'une baisse ou d'une fermeture des capacités de l'usine au moins une fois durant dix ans, si les prix de l'électricité restent à un niveau constant par rapport à la moyenne. Cette probabilité décennale est donc directement reliée à la probabilité annuelle. Ainsi, des prix de l'électricité deux fois supérieurs à la moyenne internationale augmentent d'environ 209 % le risque de baisse ou de fermeture des capacités d'une usine (IC.95 = [154 % ; 282 %]). Parallèlement, cela diminue de 52 % les probabilités de nouveaux investissements dans les usines du pays (IC.95 = [35 % ; 65 %]). Dans le cas où les prix de l'électricité sont deux fois supérieurs à la moyenne internationale pendant 10 ans, le risque de fermeture d'une usine sur 10 ans est environ de 16 % contre 8 % dans un pays avec des prix de l'électricité dans la moyenne.

Pour les prix du charbon métallurgique, la variable de prix est significative dans le modèle avec tous les procédés mais non pas pour celui pour tous les hauts-fourneaux. Il est possible que les constantes régionales et temporelles pour le modèle avec hauts-fourneaux capturent les différences de prix du charbon entre régions, ces prix étant homogènes dans une même zone géographique. Dans le modèle avec tous les procédés, ces constantes capturent également d'autres effets, les prix du charbon métallurgique sont alors significatifs. Ainsi, si on se base sur ce dernier modèle, des prix du charbon supérieurs d'un écart-type à la moyenne annuelle internationale diminuent la probabilité d'un investissement d'environ 54 % (IC.95 = [-69 % ; -34 %]) et augmentent le risque de baisse de capacité de 217 % (IC.95 = [150 % ; 319 %]). La figure 128 décrit, comme pour les prix de l'électricité, les

probabilités annuelles et décennales de changement de capacité en fonction des prix du charbon métallurgique. Les courbes dénotent d'une variation plus forte de ces probabilités que pour les prix de l'électricité. Ainsi, les usines à hauts-fourneaux sont plus sensibles aux variations relatives des prix du charbon que ne le sont les usines à arc électriques aux prix de l'électricité.

Les coûts salariaux unitaires jouent également un rôle significatif sur la localisation des changements de capacité dans la sidérurgie. Un ratio élevé du salaire par employé sur la productivité implique un coût important de la main d'œuvre par tonne d'acier produite. Selon le modèle, cela induit alors une baisse de la probabilité des investissements et une hausse de la probabilité d'une baisse ou d'une fermeture des capacités de production. L'effet des coûts salariaux unitaires est d'ailleurs comparable à celui des prix de l'électricité pour les fours à arc électrique (Figure 126). Une hausse d'un écart-type de ces coûts par rapport à la moyenne mondiale induit une diminution d'environ 40 % de la probabilité d'un investissement en capacité ( $IC.95 = [-48 \% ; -33 \%]$ ).

Enfin, les autres variables sont peu ou pas significatives, il n'est pas possible de déterminer leur influence sur la localisation des investissements. Seule la production d'aciers plats augmente le risque de fermeture ou de baisse de capacités pour les usines avec des hauts-fourneaux, mais reste sans effet pour les usines avec des fours à arc électrique. La production d'aciers plats multiplie par 2.5 la probabilité d'un choix de catégorie inférieure pour une usine à hauts-fourneaux. Des problèmes de sur-capacité de la production, ou de baisse de la demande pour ce type d'acier peuvent expliquer ce résultat. Par exemple, l'allègement progressif des véhicules automobiles tend à diminuer la demande d'aciers plats.

Le choix de la technologie du procédé, entre fours à arc électrique et hauts-fourneaux, l'intégration verticale, en amont ou en aval, et surtout l'abondance de matières premières locales, ferraille ou minerai de fer, semblent ne pas avoir d'effet sur les choix de changements de capacité dans la sidérurgie. Tous les résultats sont non significatifs pour ces variables. Cela confirme le résultat de l'étude précédente au niveau national, sur la faible dépendance de l'industrie sidérurgique aux ressources locales dans la localisation de la production.

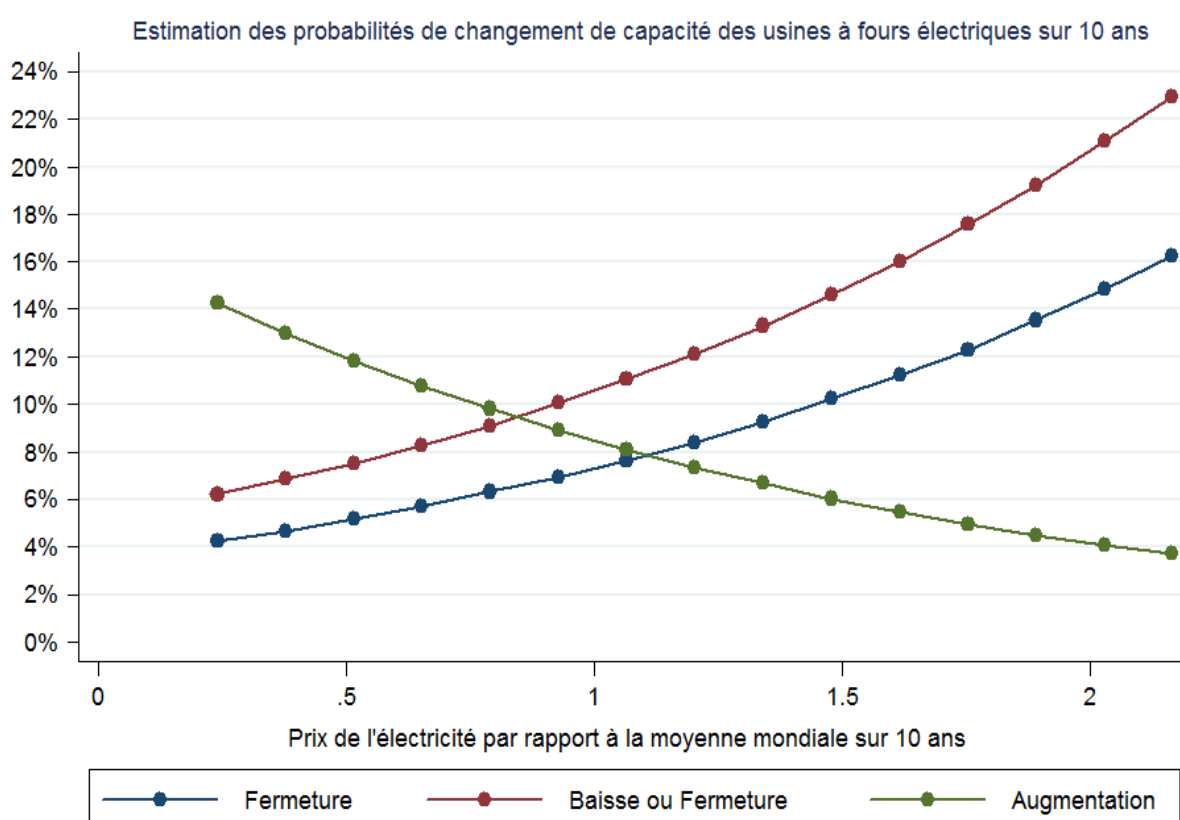
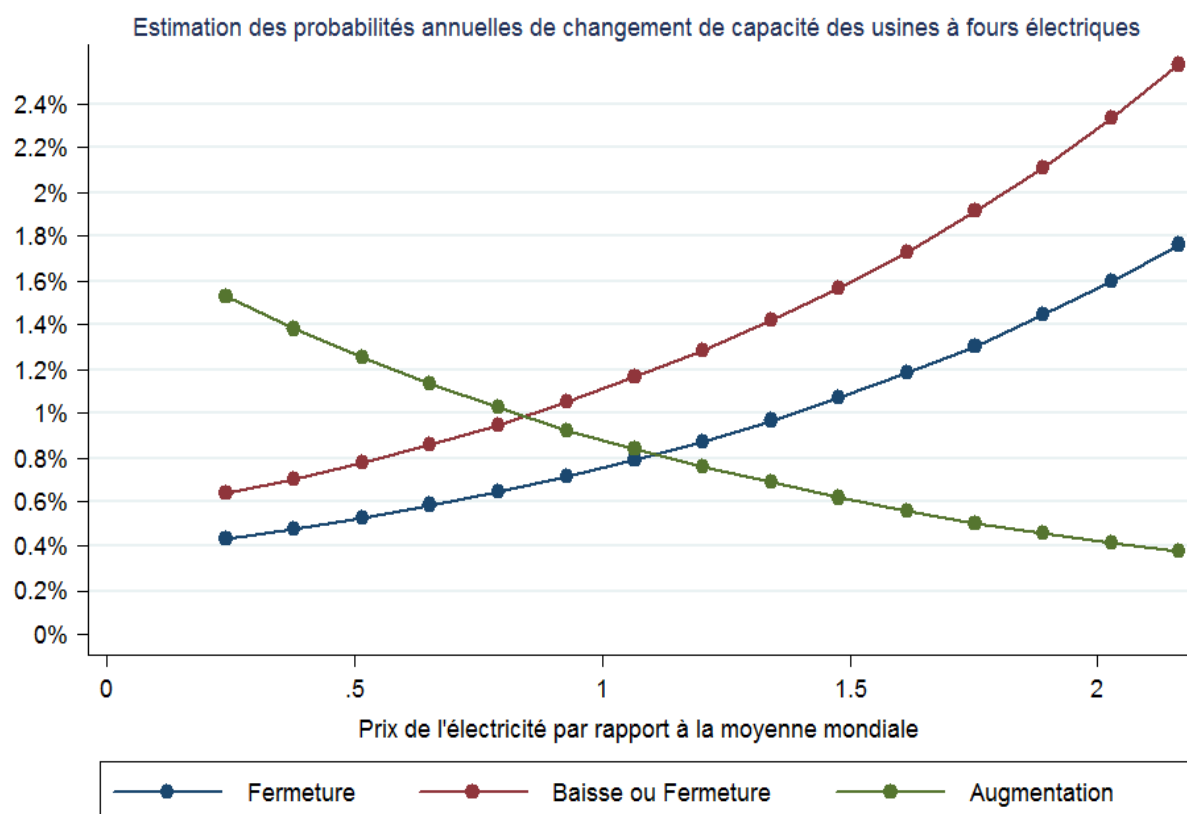


Figure 127 : Estimation des probabilités annuelles et décennales de changement de capacité des usines à fours électriques en fonction des prix de l'électricité.

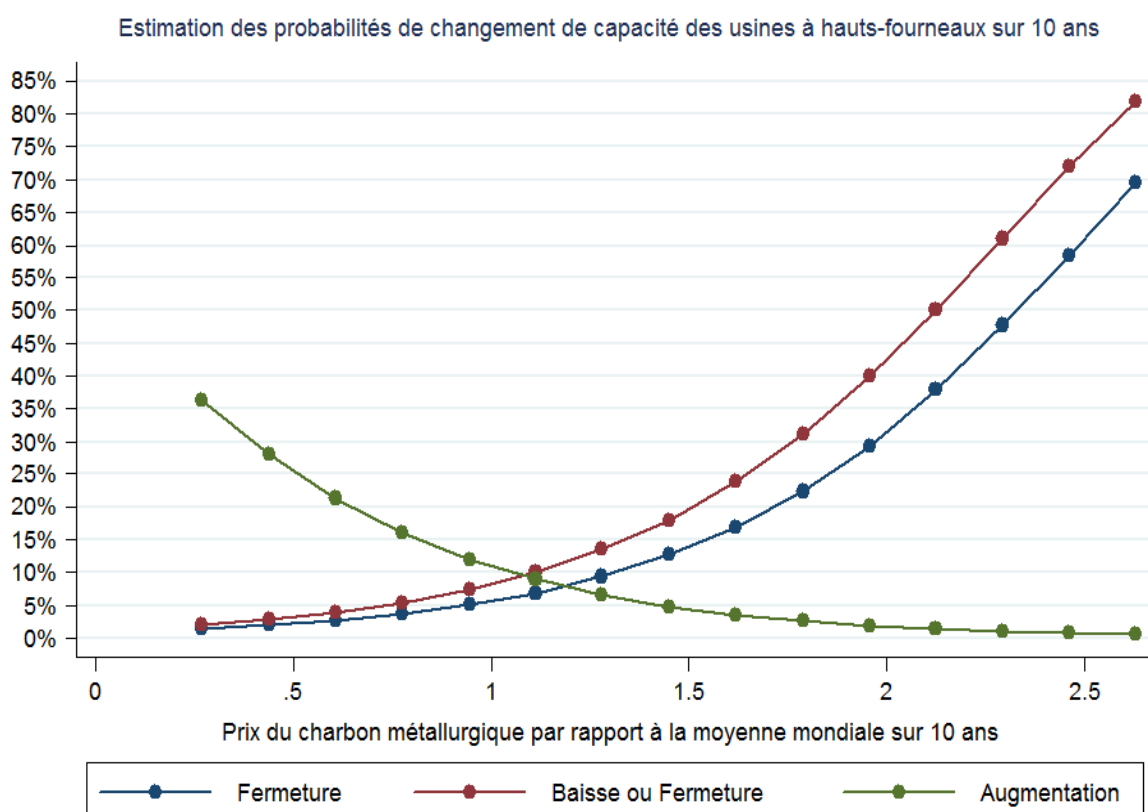
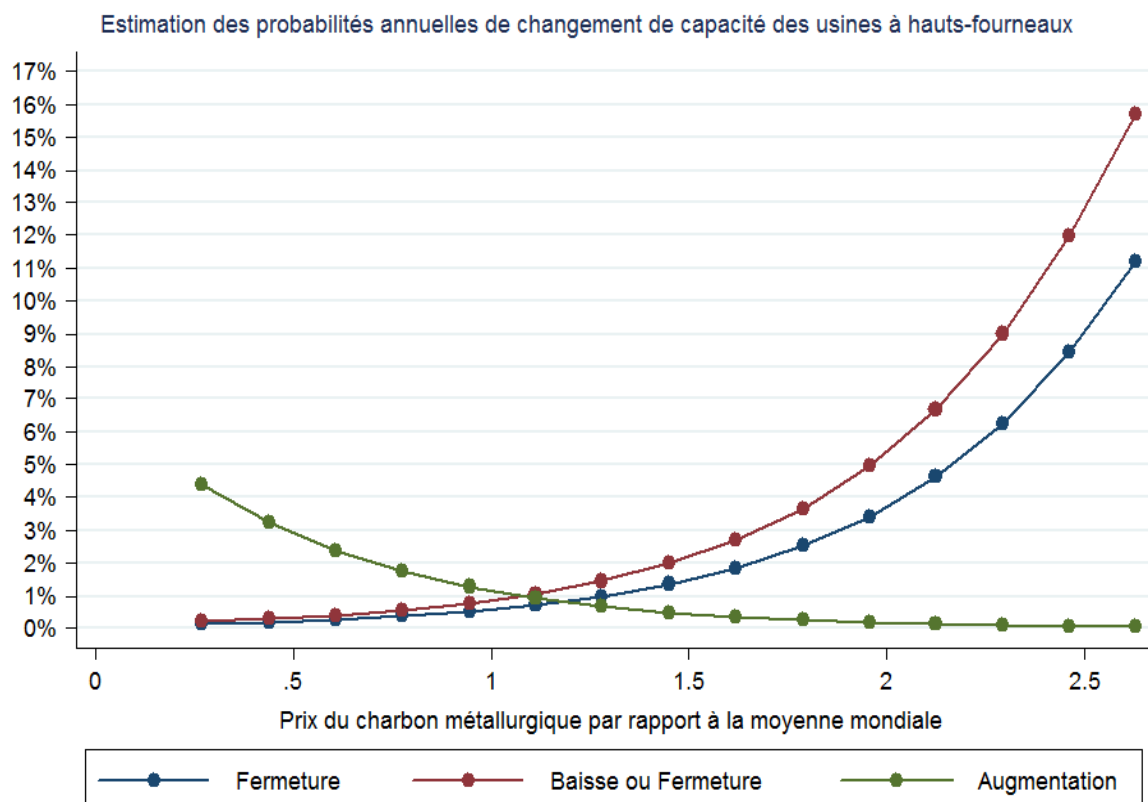


Figure 128 : Estimation des probabilités annuelles et décennales de changement de capacité des usines à hauts-fourneaux en fonction des prix du charbon métallurgique.



Le tableau 27 présente les résultats des modèles dans lesquels les facteurs de coûts et d'abondance de matières premières ne sont pas inclus. Seul le taux d'utilisation des capacités régionales ainsi que les caractéristiques des usines sont pris en compte. Les résultats sont très proches de ceux présentés auparavant, le retrait des variables de coûts et d'abondance modifie peu l'estimation du coefficient de régression des autres variables. Néanmoins, le pseudo-coefficient de détermination  $R^2$  est plus bas, surtout dans le modèle intégrant tous les procédés. La seule différence importante se situe dans l'augmentation du coefficient estimé pour le taux d'utilisation des capacités régionales, même s'il reste non significatif pour décrire les changements de capacité dans les fours à arc électrique. Cela confirme que les variables de coûts et d'abondance ont également un effet sur la localisation de la production et donc sur le taux d'utilisation des capacités. Cet effet reste néanmoins faible, les conclusions demeurent les mêmes que pour le modèle complet.

<b>Choix:</b> 0 : Fermeture 1 : Baisse de capacité 2 : Stabilité 3 : Augmentation de capacité	Tous procédés	Fours électriques	Hauts-fourneaux
<i>Taux d'utilisation des capacités régionales</i>	10.02*** (2.74)	4.11 (1.41)	31.15** (2.05)
<i>Procédé EAF</i>	0.78 (-0.60)	/ /	/ /
<i>Capacité annuelle EAF</i>	2.11*** (7.06)	2.13*** (6.60)	/ /
<i>Capacité annuelle BOF</i>	3.07*** (3.04)	/ /	5.41*** (4.82)
<i>Capacité annuelle au carré EAF</i>	0.942*** (-4.29)	0.85*** (-3.95)	/ /
<i>Capacité annuelle au carré BOF</i>	0.874 (-1.59)	/ /	0.634*** (-3.28)
<i>Intégration verticale en amont BOF</i>	0.881 (-0.28)	/ /	0.787 (-0.64)
<i>Intégration verticale en aval</i>	1.12 (0.81)	0.933 (-0.45)	1.91 (0.96)
<i>Aciers Plats</i>	0.598** (-2.42)	1.33 (0.34)	0.255*** (-4.20)
<i>Autres Aciers</i>	1.23 (1.01)	1.26 (0.95)	0.917 (-0.18)
<i>Effets fixes temporels</i>	Oui	Oui	Oui
<i>Effets fixes par zone géographique</i>	Oui	Oui	Oui
<i>N</i>	11290	9090	2200
<i>Nbre. de variables estimées</i>	25	21	22
<i>McKelvey &amp; Zavoina's R<sup>2</sup></i>	0.165	0.145	0.420
<i>Log-pseudovraisemblance</i>	-1763.24	-1342.28	-376.43

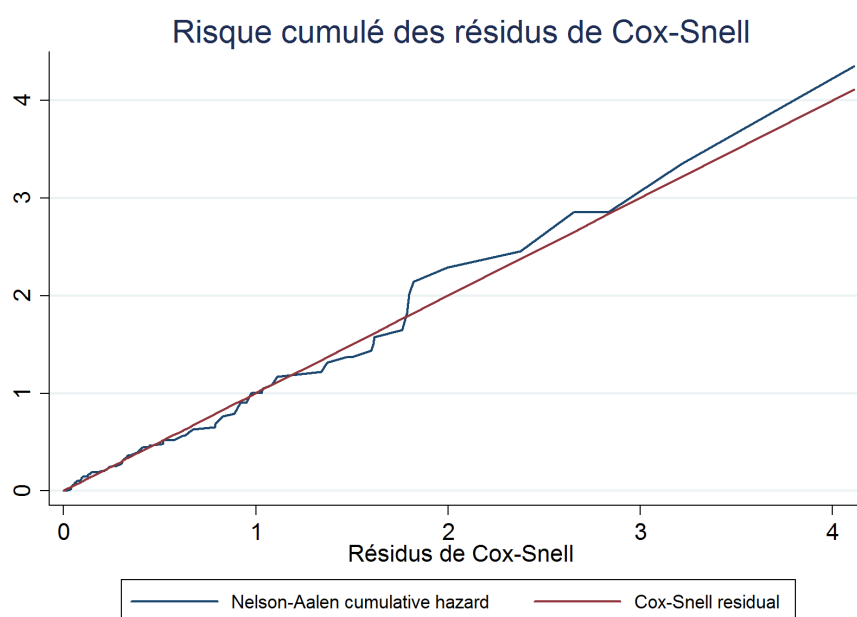
*z*-statistique entre parenthèse, \* ( $P > |z| < 0.10$ ), \*\* ( $P > |z| < 0.05$ ), \*\*\* ( $P > |z| < 0.01$ )

**Tableau 27 : Résultats du modèle ordonné sans variables de coûts sur les usines sidérurgiques.** EAF = Fours à arc électrique (Electric Arc Furnace), BOF : Hauts-Fourneaux (Basic Oxygen Furnace). Résultats présentés sous la forme de rapports des chances (« Odds ratio ») pour chaque variable.

### 2.4.3.2) PRISE EN COMPTE DE L'ÂGE TECHNIQUE DANS LES CHOIX DE FERMETURE DES FOURS A ARC ELECTRIQUE DANS LA SIDERURGIE

Le modèle de survie de Cox appliqué aux fours sidérurgiques permet d'intégrer l'âge technique dans l'analyse des fermetures de capacités. Néanmoins, comme expliqué auparavant, ce modèle repose sur des hypothèses de proportionnalité des risques qui ne sont respectées que pour les fours à arc électrique. Seuls les résultats pour ce procédé sont donc présentés (Tableau 28). Ainsi pour ce modèle, le test sur les résidus de Shoenfeld valide l'utilisation de la méthode de Cox. De plus, le test de Wald confirme la significativité globale des variables du modèle.

Afin d'évaluer la qualité de l'ajustement, la méthode des résidus de Cox-Snell est utilisée (Cox & Snell, 1968; Long & Freese, 2006). Si le modèle de Cox décrit bien les données, alors la fonction de risque cumulé réelle (« cumulative hazard function ») conditionnelle au vecteur des covariables est sous la forme d'une distribution exponentielle avec un risque de un. En d'autres termes, plus la fonction empirique du risque cumulé de Nelson-Aalen est proche de celle des résidus de Cox-Snell, plus l'ajustement du modèle est bon. Pour vérifier ce point, un graphique représentant à la fois les résidus de Cox-Snell (pour créer une bissectrice) et la fonction de risque cumulé de Nelson-Aalen selon la valeur des résidus de Cox-Snell est tracé (Figure 129). Plus la fonction de Nelson-Aalen est proche de la bissectrice, plus le modèle est performant (Long & Freese, 2006). Nous observons que la fonction de risque suit bien la bissectrice pour le modèle de notre étude. Dans l'ensemble, on peut donc conclure que le modèle décrit bien les données.

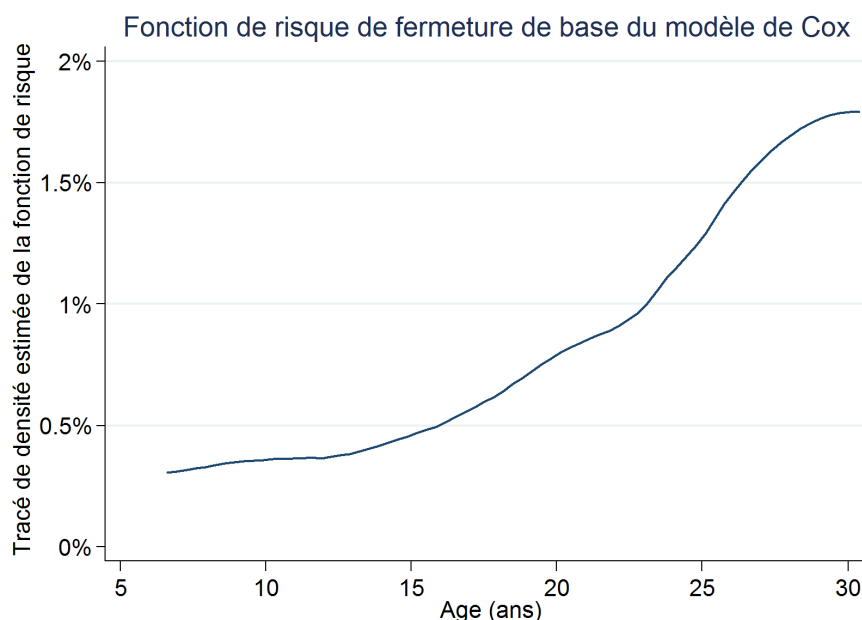


**Figure 129 : Evaluation de la qualité de l'ajustement du modèle de Cox pour les fours à arc électrique avec la méthode des résidus de Cox-Snell.**

L'âge n'est pas présent dans le tableau des résultats, car il permet de calculer la fonction de risque de base qui n'est pas linéaire. La fonction de risque de base est calculée de manière discrète dans le modèle. Une estimation de la densité par un kernel gaussien est alors utilisée et permet d'obtenir la fonction suivante en fonction de l'âge (Figure 130). Cette fonction décrit le risque de fermeture chaque année sous la condition que le four soit encore ouvert. Par exemple, à 15 ans, un four à arc électrique a

une probabilité de 0.5 % de fermer durant l'année. Pour rappel, les remises à jour (« revamping ») ne sont pas considérées comme des fermetures et redéfinissent l'âge technique de l'usine à zéro. Ainsi, tous les fours électriques de l'étude ne ferment pas au bout d'une certaine période, une partie revient à un âge de zéro sans avoir fermé. Seul l'acte de fermeture complète est analysé. On peut également présenter la fonction de risque cumulé de base qui représente la probabilité de fermeture d'un four entre la date de son ouverture et son âge actuel (Figure 131).

Il apparaît alors clairement sur ces figures que le risque de fermeture est bien plus élevé pour les fours âgés que pour ceux qui viennent d'ouvrir ou d'être remis à jour. C'est d'ailleurs surtout à partir de 15 ans, et encore plus nettement après 20 ans que le risque de fermeture augmente rapidement. L'âge technique d'un four est un facteur majeur dans le choix d'une fermeture. Les autres variables explicatives impliquent alors une anticipation ou, au contraire, un retardement de ce processus de fermeture. On peut noter que seules 20 % des capacités ont fermé selon le modèle au bout de 30 ans. En effet, une grande partie des fours électriques a été remise à jour<sup>104</sup>.



**Figure 130 : Fonction de risque de fermeture d'un four électrique selon son âge pour la moyenne des variables explicatives**

<sup>104</sup> On considère généralement qu'un four à arc électrique possède une durée de vie d'environ 40 ans avec une remise à jour à mi-vie, autour de 20 ans. Or, la technologie des fours électriques s'est surtout développée pour les aciers longs et plats à partir des années 1970. Donc, pour la période d'étude, entre 1995 et 2006, ce sont surtout des remises à jours qui sont observées.

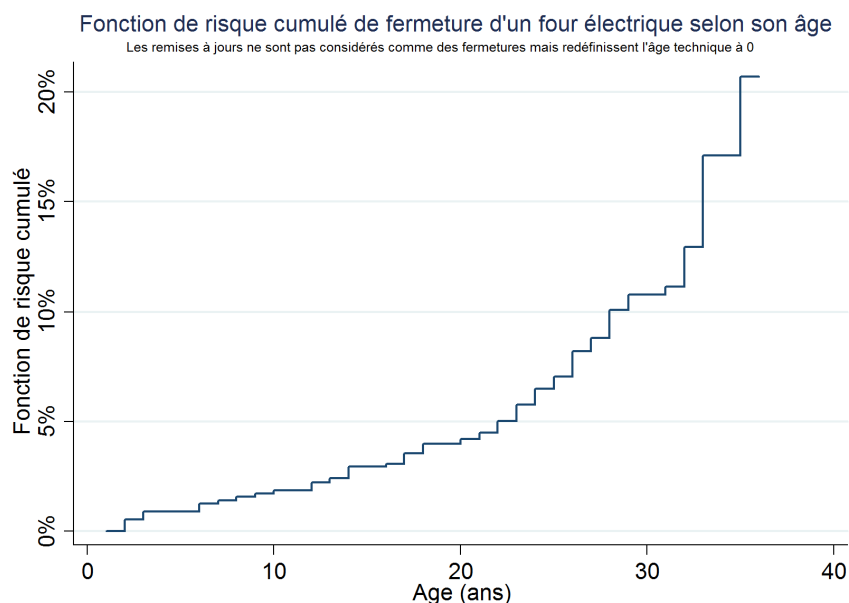


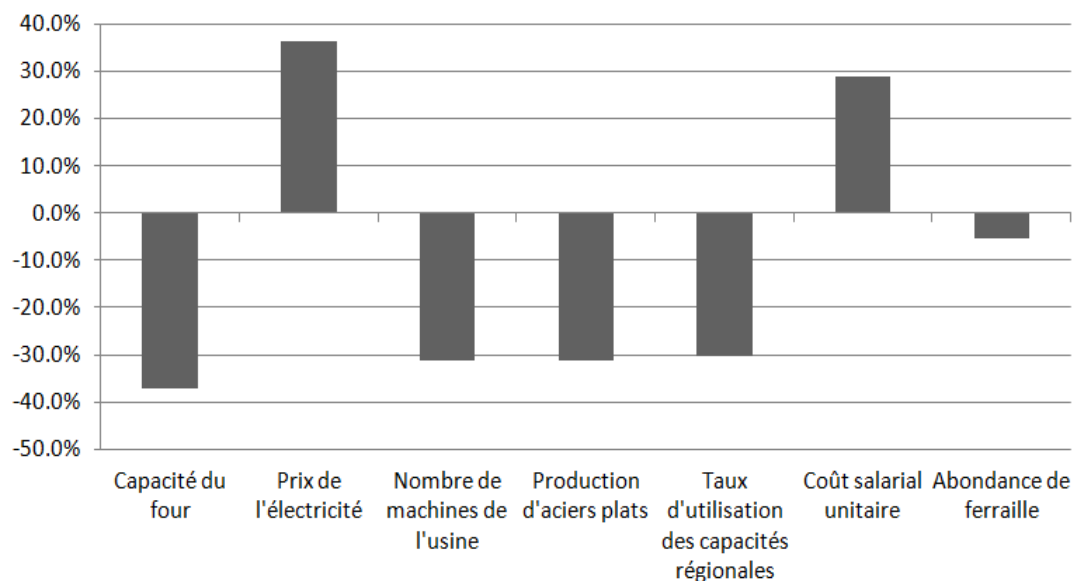
Figure 131 : Fonction de risque cumulé de fermeture d'un four électrique selon son âge pour la moyenne des variables explicatives

Modèle de Cox :	Fours électriques
<ul style="list-style-type: none"> <li>Risque de fermeture de four sidérurgique</li> <li>Remise à jour non prise en compte mais redéfinit l'âge technique à 0</li> </ul>	
<i>Taux d'utilisation des capacités régionales</i>	0.0225** (-2.18)
<i>Capacité annuelle EAF</i>	0.603*** (-3.07)
<i>Nombre de machines dans l'usine</i>	0.730** (-2.01)
<i>Aciers Plats</i>	0.349** (-2.24)
<i>Coût salarial unitaire</i>	1.390*** (4.21)
<i>Prix de l'électricité EAF</i>	2.024** (1.98)
<i>Abondance de ferraille</i>	0.962 (-0.53)
<i>Effets fixes temporels</i>	Oui
<i>Effets fixes par zone géographique</i>	Oui
<i>N</i>	5728
<i>Nbre. de variables estimées</i>	22
<i>Wald <math>\chi^2</math></i>	189.93***
<i>Log-pseudovraisemblance</i>	-394.63

z-statistique entre parenthèse, \* ( $P > |z| < 0.10$ ), \*\* ( $P > |z| < 0.05$ ), \*\*\* ( $P > |z| < 0.01$ )

Tableau 28 : Résultats du modèle de Cox sur les fours à arc électrique. La variable âge est intrinsèque à l'estimation ; son effet varie selon les années. Résultats présentés sous la forme de rapports des chances (« Odds ratio ») pour chaque variable.

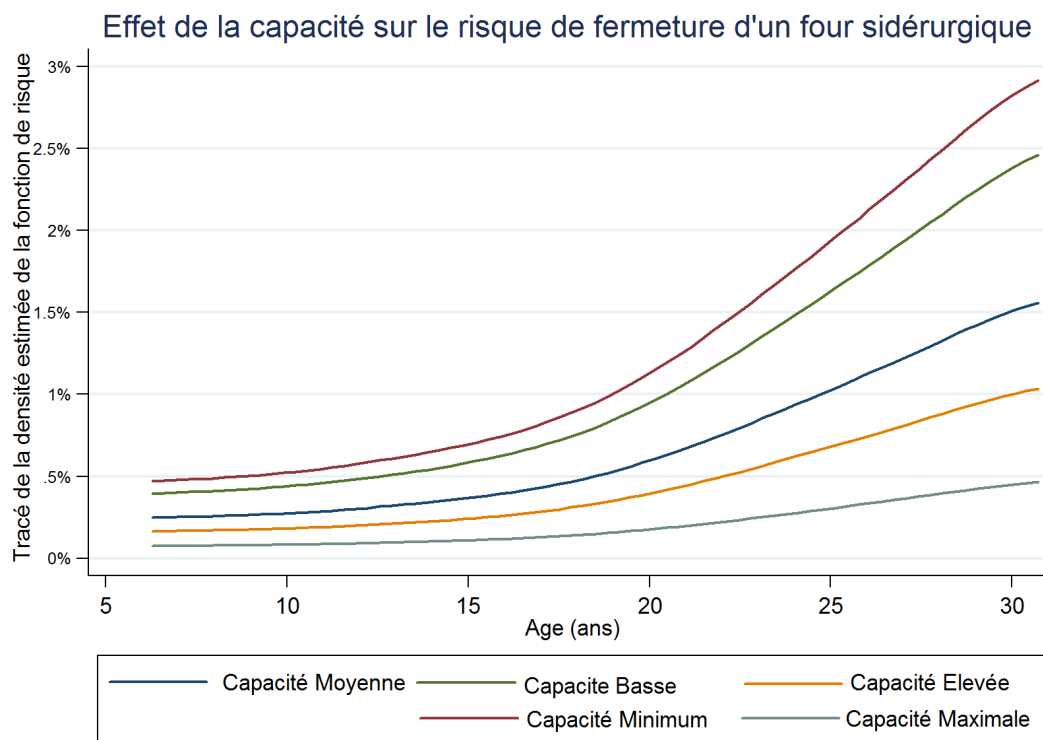
Les résultats sont également présentés sous la forme de rapports des chances (« Odds ratio ») entre la fermeture et le maintien d'un four. Il faut interpréter ces coefficients comme l'effet multiplicatif sur la probabilité de fermeture d'une augmentation d'une unité des variables explicatives, c'est-à-dire le passage au double de la moyenne annuelle internationale pour la variable explicative<sup>105</sup>. En fait, les rapports des chances sont les valeurs sous forme exponentielle des coefficients de régression estimés durant la régression, que l'on peut donc facilement obtenir en utilisant le logarithme. La figure 132 décrit l'effet comparé de l'augmentation d'un écart-type des variables explicatives sur la probabilité de fermeture d'un four à arc électrique.



**Figure 132 : Effet d'une augmentation d'un écart-type des variables explicatives sur la probabilité de fermeture d'un four à arc électrique. Pour la production d'aciers plats, la variation est de 1 car c'est une variable binaire.**

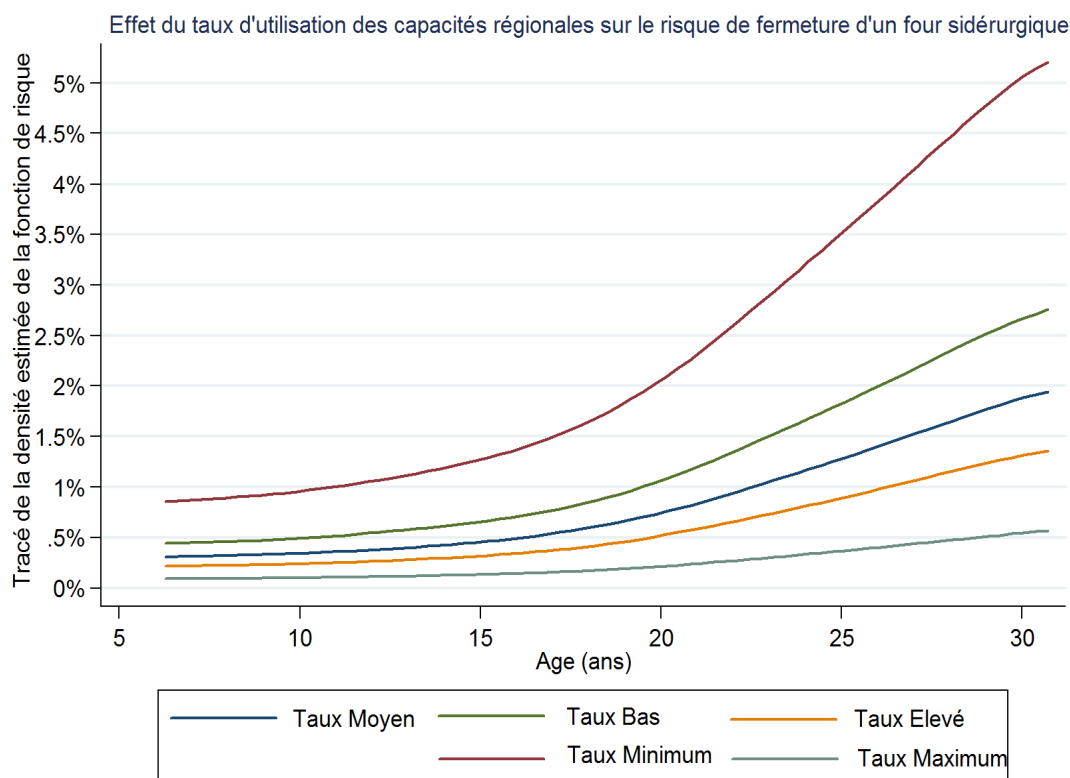
On retrouve dans les résultats du modèle de survie, l'importance de la variable de taille du four et donc des économies d'échelle dans la sidérurgie. Un four à arc électrique avec une capacité supérieure d'un écart-type par rapport à la moyenne internationale possède une probabilité de fermeture inférieure d'environ 37 % (IC.95 = [-53 % ; -15 %]). De même, la taille de l'usine, représentée par le nombre de machines dans l'usine, implique également une meilleure compétitivité du four sidérurgique, notamment par des économies d'échelle liées à un partage des frais d'organisation. Avec les prix de l'électricité, les deux variables décrivant l'effet de taille, sont celles dont l'augmentation implique l'effet le plus important sur la probabilité de fermeture d'un four. La figure 133 présente la fonction de risque estimée pour un four électrique avec des variables explicatives moyennes mais différentes capacités de production. Le logarithme de chaque courbe est parallèle à celui des autres, c'est l'hypothèse sur laquelle s'appuie le modèle de Cox. Un four électrique de 30 ans avec une capacité inférieure d'un écart-type à la moyenne possède un risque de fermeture annuel d'environ 2.3 %, soit un risque à peu près neuf fois supérieur à celui d'un four de 10 ans de capacité moyenne. Inversement, le four avec la capacité maximale dans l'échantillon de l'étude possède un risque de fermeture à 25 ans comparable à celui d'un four de capacité moyenne à 5 ans.

<sup>105</sup> Puisque les variables sont toutes relatives à la moyenne sauf les variables binaires comme la production d'aciers plats



**Figure 133: Effet de la taille des capacités de production sur le risque de fermeture annuel d'un four à arc électrique. Capacité basse indique une capacité inférieure d'un écart-type à la moyenne, et inversement pour capacité élevée.**

Ensuite, contrairement au modèle ordonné sur les fours à arc électrique, le taux d'utilisation des capacités régionales a un effet positif significatif sur la durée de vie d'un four électrique. Lorsque les capacités de production arrivent à un niveau de saturation dans une zone géographique, les fermetures de fours sidérurgiques sont retardées malgré l'âge technique potentiel de ces fours. Inversement, en période de sur-capacité, l'âge moyen de fermeture des fours électriques diminue. Une augmentation d'un écart-type du taux d'utilisation des capacités de production induit une baisse d'environ 30 % des probabilités de fermeture dans une zone géographique (IC.95 = [-50 % ; -4 %]). De la même manière que pour l'effet de taille, la figure 134 permet de comparer l'effet du taux d'utilisation et de l'âge technique sur la probabilité de fermeture d'un four. Un four de plus de 30 ans dans une région avec un très faible taux d'utilisation des capacités a une probabilité annuelle de fermeture de 5 %. Ce risque est environ dix fois supérieur à celui d'un four électrique récent dans une région avec un taux d'utilisation moyen. De même, un four électrique de 30 ans dans une région avec un taux d'utilisation élevé a la même probabilité de fermeture, toutes choses étant égales par ailleurs, qu'un four de 22 ans avec un taux d'utilisation faible.



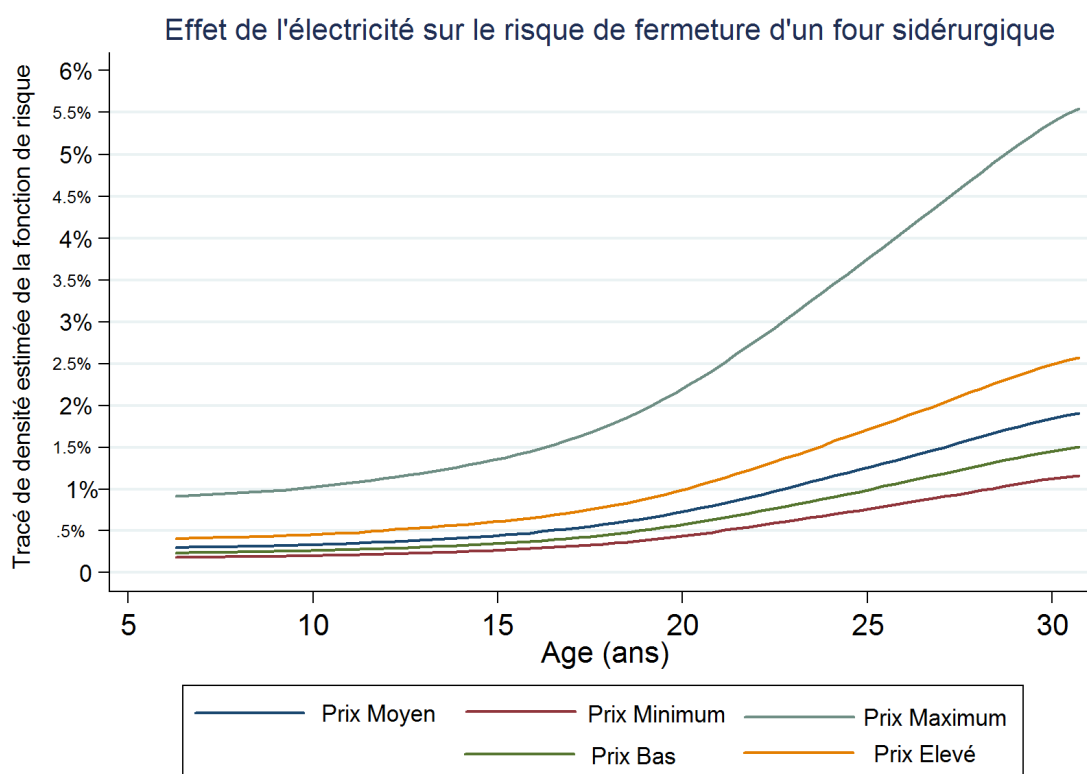
**Figure 134 : Effet du taux d'utilisation des capacités régionales sur le risque de fermeture annuel d'un four à arc électrique**

Si dans les études précédentes, l'effet des prix ou des coûts de l'électricité sur les échanges internationaux, la localisation de la production au niveau national ou sur les choix de changements de capacité, est resté modéré par rapport à d'autres variables, il apparaît majeur dans les décisions de fermeture de fours à arc électrique (Figure 132). Des prix élevés de l'électricité accélèrent la fermeture des fours en fin de vie. Les prix n'apparaissent donc pas comme un facteur essentiel de localisation de la production ou des investissements, mais comme un catalyseur de fermeture dans les usines à arc électrique où la situation compétitive est déjà fragile. Des prix de l'électricité supérieurs d'un écart-type à la moyenne internationale augmentent le risque de fermeture d'environ 36 % (IC.95 = [0.3 % ; 85 %]). De manière similaire, des prix de l'électricité deux fois plus élevés que la moyenne internationale impliquent un risque de fermeture environ 2 fois supérieurs à la moyenne (IC.95 = [1.0 ; 4.1]). La figure 135 présente l'effet des prix de l'électricité sur la fonction de risque de fermeture d'un four à arc électrique. On constate dans un premier temps, l'existence de prix très élevés de l'électricité pour certains fours. Ces prix très élevés impliquent alors un risque annuel de fermeture de 5.5 % pour un four de 30 ans contre 2 % pour un four avec des prix de l'électricité dans la moyenne. De même, des prix de l'électricité inférieurs d'un écart-type à la moyenne internationale (471\$<sub>2005</sub>/tep au lieu de 842\$<sub>2005</sub>/tep) induisent, pour un four de 25 ans, des risques de fermetures équivalents à ceux d'un four de 20 ans avec des prix supérieurs d'un écart-type à la moyenne (1212\$<sub>2005</sub>/tep).

Enfin, des coûts salariaux unitaires élevés induisent, dans une moindre mesure, une hausse du risque de fermeture pour un four à arc électrique. La production d'acier plat est un facteur de compétitivité pour un four électrique au contraire des hauts-fourneaux dans le modèle ordonné. Cet effet apparemment contradictoire provient probablement du développement des fours électriques dans le marché des aciers plats à partir de 1989, avec l'arrivée de nouvelles techniques (Hall, 1997). En effet,



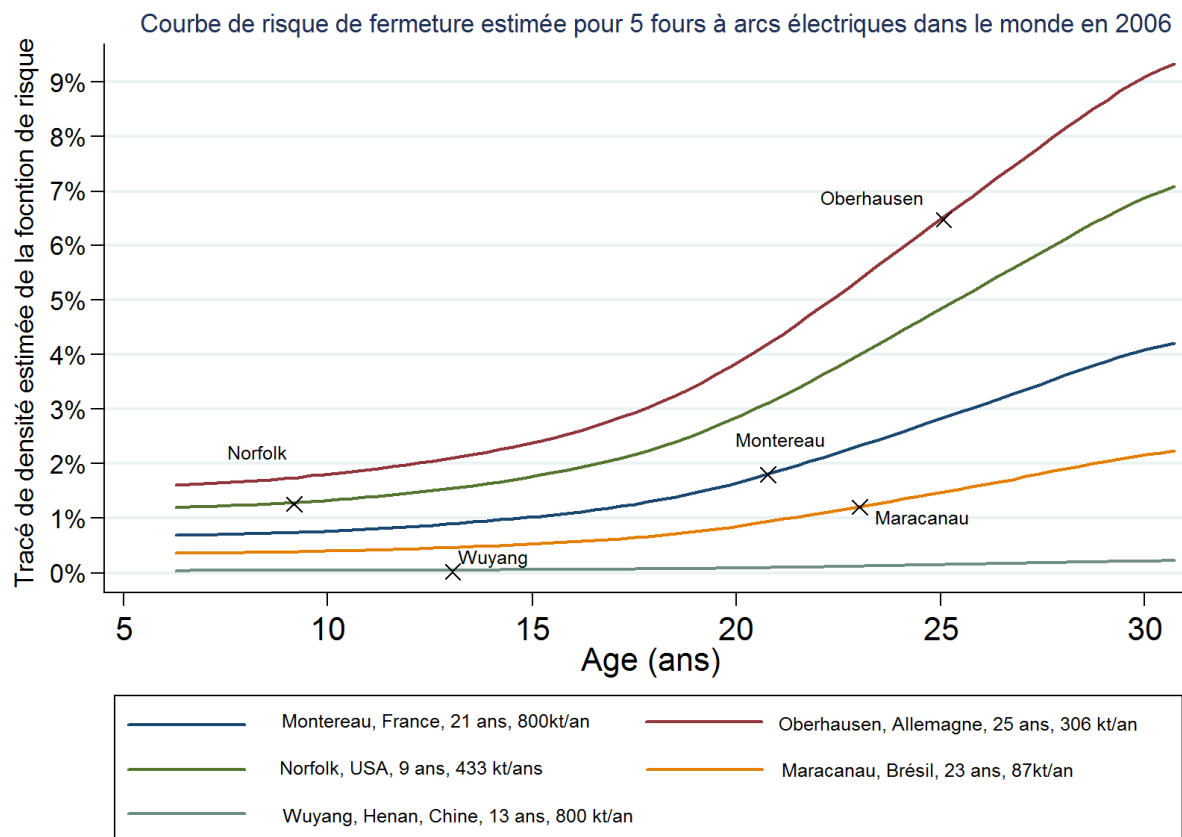
les fours électriques se sont révélés moins coûteux pour produire les aciers plats de faible qualité, capturant ainsi des parts de marché aux usinés intégrées. Ainsi, les capacités de production d'aciers plats des fours électriques ont remplacé les hauts-fourneaux. L'abondance de ferraille ne donne pas de résultat significatif dans le modèle de Cox. Comme dans les études précédentes sur la sidérurgie, l'abondance des ressources premières ne possède pas d'influence significative sur la compétitivité.



**Figure 135 : Effet des prix de l'électricité sur le risque de fermeture annuel d'un four à arc électrique**

Une estimation de la fonction de risque de cinq fours électriques existants est finalement présentée, afin de décrire un exemple d'application des résultats du modèle de survie. En effet, il est possible d'analyser le risque relatif de fermeture entre différents fours sidérurgiques et les raisons de ce manque de compétitivité. La figure 136 présente la fonction de risque estimée, par rapport aux conditions de 2006, pour cinq fours en Allemagne, aux Etats-Unis, en France, au Brésil et en Chine. Le four allemand d'Oberhausen est celui qui a le risque le plus important de fermeture, d'environ 6.5 % par an. Ce manque de compétitivité provient de l'âge du four (25 ans), de sa faible capacité, du manque d'économies d'échelle au niveau de l'usine (1 four), de coûts salariaux unitaires et de prix de l'électricité élevés. Le risque de fermeture annuel estimé pour ce four est alors plus de trois fois supérieur à celui de Montereau en France qui a pourtant aussi plus de 20 ans. L'avantage du site de Montereau réside principalement dans sa capacité élevée de production (800 kt/an) et dans des prix de l'électricité plus faibles. Le four de Maracanau est de petite taille mais il est avantagé par des prix de l'électricité et des coûts salariaux très faibles. De plus, la constante géographique est avantageuse en Amérique Latine, la concurrence entre producteurs est éventuellement plus faible dans cette zone et la demande en plus forte croissance. Aux Etats-Unis, le site de Norfolk a peu de risque de fermer mais cet avantage provient principalement de l'ouverture récente du four. Enfin, en Chine, le four de

Wuyang profite à la fois d'économies d'échelle importantes au niveau du four et de l'usine, ainsi que de coûts salariaux très faibles.



**Figure 136 : Courbe de risque annuel de fermeture estimée pour 5 fours à arc électrique répartis dans le monde en 2005**

#### 2.4.4) CONCLUSION DE L'ETUDE SUR L'EVOLUTION DES CAPACITES DE PRODUCTION DANS LA SIDERURGIE

Suite à l'étude des échanges internationaux et de la localisation de la production au niveau d'une industrie nationale, cette section analyse les mécanismes de changement de capacité dans la sidérurgie. L'objectif est d'obtenir une compréhension des mécanismes de choix à l'échelle de l'usine et du four sidérurgique. Deux méthodes sont développées afin de modéliser des événements discrets. La première méthode sur les usines permet de classer les choix entre une fermeture, une baisse, une stabilité et une augmentation des capacités de production à l'aide d'un modèle logit ordonné. La seconde méthode autorise la prise en compte de l'âge comme facteur explicatif au niveau des fours à arc électrique avec un modèle de survie de Cox. Dans les deux cas, la période de l'étude s'étend de 1997 à 2006, pour l'industrie sidérurgique dans 31 pays répartis dans le monde. Les apports principaux de cette méthode sont d'abord de pouvoir intégrer des caractéristiques propres à chaque usine, puis de relier la notion de compétitivité d'une industrie nationale à celle d'une usine au travers du taux d'utilisation des capacités. Un autre intérêt d'une étude à un niveau plus local est de pouvoir distinguer les procédés en fonction de la technologie.

Les résultats mettent en avant l'importance majeure de certaines caractéristiques propres aux usines et aux fours sidérurgiques, principalement la taille des capacités et l'âge technique. En effet, les économies d'échelle, soit au niveau du four ou soit à celui de l'usine, jouent un rôle essentiel dans la compétitivité des moyens de production dans la sidérurgie. Il est alors possible de calculer, selon le type de procédé, une capacité optimale de production pour une usine. L'âge intervient également beaucoup dans le risque de fermeture d'un four, avec une forte augmentation de ce risque après 15 ans de fonctionnement.

Ces travaux sur les changements de capacité confirment les conclusions des études précédentes : les prix de l'énergie jouent un rôle significatif dans la compétitivité de l'industrie sidérurgique mais l'abondance des ressources premières au niveau local n'est pas déterminante. En effet, un prix élevé du charbon métallurgique pour les hauts-fourneaux ou de l'électricité pour les fours à arc électrique diminue la probabilité d'investissements dans les usines d'un pays. Au contraire, cela favorise les baisses de capacité et les fermetures. Pour les fours électriques, les prix de l'électricité constituent un facteur important d'accélération des processus de fermeture des fours en fin de vie. En effet, des prix élevés de l'énergie vis-à-vis de la concurrence ne représentent pas les facteurs principaux des choix de localisation de la production mais amplifient les problèmes de compétitivité des sites sidérurgiques qui sont dans une situation déjà défavorable. Au contraire, l'abondance de matières premières, minerai de fer pour les hauts-fourneaux et ferraille pour les fours électriques, n'affecte ni la localisation de la production au niveau international, ni les changements de capacités des unités de production d'acier. Si l'approvisionnement en ressources de l'industrie sidérurgique est fortement internationalisé, l'accès à l'énergie dépend encore beaucoup des choix de politiques énergétique et environnementale des nations.

Ces résultats permettent donc une meilleure compréhension des déterminants de la compétitivité au niveau des usines et des fours, mais également d'évaluer les unités de production sidérurgique les plus à risque. Ce type d'estimation permet de prévoir les changements possibles de capacité site par site, et donc de prévoir les évolutions dans la consommation d'énergie dans un pays. Les causes de ces changements peuvent également être analysées afin d'implémenter des politiques industrielles plus efficaces. De plus, dans une étude par simulation numérique, les résultats de ces travaux permettent de distinguer des évolutions propres à chaque unité de production en fonction des prix de l'énergie et des caractéristiques de l'usine. Il est alors possible de simuler l'évolution en capacité de chaque site sidérurgique.

## **CONCLUSION DU CHAPITRE II**

**L**es industries du papier et de la sidérurgie ont connu une restructuration importante de leur offre productive et un accroissement rapide de la concurrence internationale entre 1995 et 2006. Les travaux économétriques de ce chapitre démontrent clairement le rôle de l'énergie dans la compétitivité de ces deux secteurs. L'analyse empirique permet d'identifier et de pondérer les déterminants de la compétitivité au niveau des échanges commerciaux, de la production d'une industrie nationale et des changements de capacité des usines et des machines. L'adaptation des méthodes d'analyse selon l'échelle d'étude, l'extension de la base de données sur de nombreux pays répartis dans le monde ainsi que l'utilisation de la notion de coût plutôt que de prix de l'énergie distinguent ces travaux de la littérature existante. En effet, ces améliorations permettent une étude détaillée des effets de l'énergie dans des secteurs industriels précis, tout en contrôlant des autres facteurs de compétitivité traditionnels.

Trois conclusions majeures sur le rôle de l'énergie ressortent des résultats de ces travaux. Ces conclusions sont communes aux secteurs du papier et de l'acier, sauf pour la dernière qui ne porte que sur l'acier. Il semble donc exister un effet commun de l'énergie sur les industries IGCE même si l'ampleur de cet effet dépend du niveau de consommation d'énergie dans chaque secteur. Les conclusions sont les suivantes :

- Une hausse des coûts de l'énergie induite par une hausse des prix de l'énergie ou par une baisse de l'efficacité énergétique, diminue les exportations de papier et d'acier d'un pays et donc sa compétitivité internationale.
- Les coûts de l'énergie déterminent à la fois le niveau relatif de production et de compétitivité des industries nationales et l'évolution de ce niveau dans un pays au cours du temps. Cependant, cette influence reste modérée vis-à-vis d'autres facteurs de compétitivité tels que la proximité des marchés, la productivité et les salaires.
- Les changements de capacité dans l'industrie sidérurgique sont également influencés par les prix de l'énergie. Des prix élevés de l'énergie par rapport à la concurrence ne constituent pas le facteur principal des choix de localisation de la production ou des capacités mais amplifient les problèmes de compétitivité des sites sidérurgiques déjà existants.

Les études économétriques permettent de mettre en avant l'effet déterminant d'autres facteurs de compétitivité pour les industries du papier et de l'acier. D'abord, ces deux secteurs demeurent fortement attachés à la proximité des marchés, nationaux ou continentaux. Le niveau de demande domestique est le principal facteur de localisation de la production au niveau national. L'importance des coûts de transport du papier et de l'acier, les spécificités des demandes nationales, le besoin de relations améliorées avec les acheteurs permettent d'expliquer cette importance de la demande locale. Notamment, l'influence forte de la demande domestique diminue les craintes d'une potentielle délocalisation massive liée aux seules différences de coûts. La principale tendance est à la régionalisation de la production et de la demande plutôt qu'à une mondialisation complète.

Dans le même ordre d'idées, les différences de salaires sont bien un déterminant majeur du choix de la localisation de la production même pour deux industries peu intensives en main d'œuvre. Ce n'est pas tant l'effet marginal des salaires qui importe mais l'écart majeur des salaires entre les pays. Il semble alors difficile d'améliorer ce déterminant de la compétitivité sans réduire d'un ordre de grandeur les salaires dans les pays développés. L'amélioration de la productivité et la formation des employés

semble un objectif plus facilement atteignable avec des effets positifs très significatifs. De plus, l'investissement et la formation sont des outils aux mains des producteurs.

L'abondance de matières premières joue un rôle très différent dans les deux industries étudiées. L'industrie du papier est fortement localisée dans les pays avec des flux importants de bois industriel et de vieux papier. A l'inverse, la production d'acier est faiblement liée à la présence de minerai de fer et de ferraille. Ces différences dans l'importance des ressources locales peuvent s'expliquer par un niveau des échanges internationaux plus élevé pour le minerai de fer et la ferraille que pour les ressources de l'industrie du papier.

Enfin, les caractéristiques propres à chaque usine ou à chaque four sidérurgique sont également des facteurs essentiels de la compétitivité de ces unités de production. La taille des capacités et l'âge technique des fours différencient fortement la compétitivité des sites de production au sein d'un même pays. Les économies d'échelle, soit au niveau du four ou soit à celui de l'usine, jouent un rôle majeur dans la compétitivité des moyens de production dans la sidérurgie. L'âge intervient également beaucoup dans le risque de fermeture d'un four, avec une forte augmentation de ce risque après 15 ans de fonctionnement en l'absence de remise à jour.

D'un point de vue méthodologique, il convient de souligner la limitation des résultats obtenus à la description de mécanismes économiques sur une période passée précise et pour des variations restreintes des facteurs de compétitivité. Notamment, il n'est pas possible d'extrapoler les résultats quantitatifs obtenus à des situations où les variables se situent à des valeurs hors du cadre observé dans les données historiques. De même, les prévisions doivent correspondre à un scénario économique cohérent. Néanmoins, le fait de retrouver des résultats communs sur différentes échelles, pour différentes variables endogènes et avec des méthodes distinctes souligne la robustesse des résultats statistiques obtenus. De nombreux cas de violation des hypothèses de base de l'économétrie sont apparus, mais des corrections ont été effectuées afin d'éviter l'apparition de biais dans les estimations. Enfin, dans l'ensemble les modèles procurent des résultats significatifs et cohérents avec la théorie économique. Le tableau 29 ci-dessous, résume les principaux résultats obtenus pour l'énergie avec les méthodes économétriques.

Dans ce chapitre, l'analyse des résultats est limitée à des cas particuliers. Néanmoins, ces cas illustrent les applications possibles des résultats à des problématiques économiques et politiques sur la compétitivité des secteurs du papier et de l'acier. Avec le modèle de gravité, il est possible d'effectuer des évaluations ex-post de l'impact sur les flux bilatéraux de politiques énergétiques sur les prix ou sur l'efficacité énergétique, à la fois en termes de valeurs monétaires et d'emplois. D'autre part, les résultats sur la localisation de la production sont utiles aux gouvernements et aux industriels pour le développement ou le renforcement de leur industrie nationale. La compréhension et la pondération des facteurs de compétitivité permettent l'identification des forces et faiblesses d'un secteur. Cela met alors en évidence les actions potentielles pour améliorer la compétitivité puisque certains déterminants sont sous le contrôle des industriels (ex. productivité) et d'autres sont en-dehors de l'influence des entreprises (ex. salaires). Enfin, les résultats sur les changements de capacité permettent d'évaluer les risques de fermeture des unités de production sidérurgiques. Ce type d'estimation permet de prévoir les changements possibles de capacité site par site et donc de prévoir les évolutions de consommation d'énergie. Les causes de ces changements peuvent également être analysées afin d'implémenter des politiques industrielles plus efficaces.

Les résultats de ces travaux peuvent par la suite être intégrés dans des modèles d'équilibre partiels, en simulation numérique. De nombreux modèles ont été développés pour étudier l'effet possible d'une hausse des prix de l'énergie ou des contraintes environnementales sur les choix technologiques. Le point fort de ces modèles réside dans la connaissance des technologies de production actuelles et futures (modèles « bottom-up »). Cependant, l'impact de l'énergie sur la compétitivité d'une industrie nationale ou d'une usine est peu ou rapidement pris en compte. La compréhension et la quantification des mécanismes de compétitivité dans les industries du papier et de l'acier permettent d'insérer dans ces modèles des comportements économiques plus réalistes de la part des acteurs industriels. Par exemple, la production nationale dans ces secteurs demeurent fortement liée à la demande domestique, elle n'est pas simplement allouée aux producteurs avec les coûts de production les plus faibles. L'extension des travaux de ce chapitre à d'autres secteurs peut alors permettre d'approfondir la connaissance des effets de l'énergie sur tous les secteurs IGCE et d'intégrer un comportement spécifique à chaque secteur dans les modèles numériques.

Etudes	Variable expliquée	Secteur et échelle de l'étude	Variable explicative	Méthodologie	Coefficient estimé pour l'énergie	Autres variables incluses
Effets des coûts de l'énergie sur les échanges internationaux de produits manufacturés (p.176)	Exportations, en valeur, entre pays partenaire (1000\$ <sub>2005</sub> )	Sidérurgie  31 pays 1998-2006 8505 observations	Ratio <sup>106</sup> des coûts de l'énergie entre le pays exportateur et importateur (sans unité)	Moindres carrés ordinaires (MCO)	-0.001 (0.034) <sup>107</sup>	- PIB des partenaires - Distance - Langues et frontières communes - Zone de libre échange - % de fours électriques
				Effets fixes (EF)	-0.184** (0.082)	
				Effet aléatoires (EA)	-0.134** (0.064)	
				EA/EF <sup>108</sup>	-0.185** (0.082)	
		Papier  32 pays 1995-2006 11456 observations	Ratio des coûts de l'électricité entre le pays exportateur et importateur (sans unité)	MCO	-0.132*** (0.024) <sup>2</sup>	- PIB des partenaires - Distance - Langues et frontières communes - Zone de libre échange
				EF	-0.095** (0.039)	
				EA	-0.129*** (0.034)	
				EA/EF <sup>2</sup>	-0.092*** (0.039)	
			Ratio des coûts des combustibles entre le pays exportateur et importateur (sans unité)	MCO	-0.210*** (0.020)	
				EF	-0.136*** (0.035)	
				EA	-0.137*** (0.032)	
				EA/EF <sup>2</sup>	-0.137*** (0.035)	
Etude du poids relatif des coûts de l'énergie dans la localisation de la production (p.206)	Production annuelle <sup>109</sup> , en volume, dans chaque pays (kt)	Sidérurgie  31 pays 275 observations	Coûts <sup>4</sup> moyens de l'énergie sur deux ans (\$ <sub>2005</sub> /t)	Effets fixes temporels (T-FE)	-0.243*** (0.094) <sup>2</sup>	- Consommation domestique - Productivité - Formation des salariés - Salaires - Abondance de minerai de fer - Abondance de ferraille - % de fours électriques - Liberté des échanges
				Effets fixes pour les régions et le temps (R-FE)	-0.335*** (0.100)	
				Effets fixes pour les pays et le temps (C-FE)	-0.204*** (0.045)	
		Papier  32 pays 384 observations	Coûts <sup>4</sup> de l'électricité (\$ <sub>2005</sub> /t)	T-FE	-0.075*** (0.024) <sup>2</sup>	- Consommation domestique - Productivité - Formation des salariés - Salaires - Abondance de bois industriel - Abondance de vieux papier - Prix de la pâte importée - Liberté des échanges
				R-FE	-0.061*** (0.021)	
				C-FE	-0.137*** (0.024)	
			Coûts <sup>4</sup> des combustibles (\$ <sub>2005</sub> /t)	T-FE	-0.101*** (0.026)	
				R-FE	-0.087*** (0.021)	
				C-FE	-0.026* (0.015)	

<sup>106</sup> Moyenne sur deux ans.<sup>107</sup> Ecart-type entre parenthèses pour les modèles en données de panel, \*  $p < 0.10$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*\*\*  $p < 0.01$ <sup>108</sup> Effets aléatoires pour chaque paire de pays et effets fixes pour chaque pays.<sup>109</sup> Variables expliquées et explicatives relatives à une moyenne annuelle internationale.



Etudes	Variable expliquée	Secteur et échelle de l'étude	Variable explicative	Méthodologie	Coefficient estimé	Autres variables incluses
Modèle de choix ordonné sur les changements de capacité dans les usines (p.242)	Changements de capacités de production dans les usines (0 : Fermeture 1 : Baisse 2 : Cap. Stable 3 : Augmentat°)  Résultats sous la forme de rapport des chances <sup>4,110</sup> (« Odds ratio »)	Sidérurgie  31 pays 1113 usines <sup>111</sup> 11290 observations 1996-2006	Prix <sup>4</sup> de l'électricité pour les fours à arc électrique (\$ <sub>2005</sub> /tep)	Tous procédés confondus : Logit Ordonné <sup>112</sup> (TP-LO)	0.479*** (-4.82) <sup>113</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Taux d'utilisation des capacités régionales</li> <li>- Procédé EAF ou BOF<sup>114</sup></li> <li>- Capacité annuelle du four (EAF ou BOF)</li> <li>- Abondance de ferraille (EAF) ou de minerai de fer (BOF)</li> <li>- Coût salarial unitaire</li> <li>- Intégration verticale en amont (BOF)</li> <li>- Intégration verticale en aval</li> <li>- Prod. Aciers plats<sup>115</sup></li> <li>- Prod. Autres aciers</li> </ul>
				Tous procédés confondus : Logit Ordonné avec effets individuels aléatoires <sup>6</sup> (TP-LEA)	0.475*** (-4.83)	
				Que EAF <sup>9</sup> : LO <sup>6</sup> (EAF-LO)	0.487*** (-4.52)	
				Que EAF : LEA <sup>6</sup> (EAF-LOA)	0.486*** (-4.59)	
			Prix <sup>4</sup> du charbon métallurgique pour les haut-fourneaux (\$ <sub>2005</sub> /tep)	TP-LO <sup>6</sup>	0.151*** (-4.09) <sup>8</sup>	
				TP-LEA <sup>6</sup>	0.151*** (-3.98)	
				Que BOF <sup>9</sup> : LO <sup>6</sup> (BOF-LO)	0.495 (-1.10)	
				Que BOF : LEA <sup>6</sup> (BOF-LEA)	0.496 (-1.04)	
Modèle de survie sur les facteurs de fermeture des fours sidérurgiques (p.242)	Survie des fours à arc électrique <sup>116</sup> (0 : Stable 1 : Fermeture)  Résultats sous la forme de rapport des chances <sup>4,5</sup> (« Odds ratio »)	Sidérurgie  31 pays 623 fours à arc électrique 6029 observations 1996-2006	Prix <sup>4</sup> de l'électricité pour les fours à arc électrique (\$ <sub>2005</sub> /tep)	Modèle de Cox avec effets fixes temporels et par zone géographique	2.024** (1.98) <sup>8</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Taux d'utilisation des capacités régionales</li> <li>- Age technique du four</li> <li>- Capacité annuelle du four</li> <li>- Nombres de fours dans l'usine</li> <li>- Prod. Aciers plats<sup>10</sup></li> <li>- Coût salarial unitaire</li> <li>- Abondance de ferraille</li> </ul>

Tableau 29 : Résumé des résultats sur l'effet de l'énergie sur la compétitivité des industries de l'acier et du papier

<sup>110</sup> Un rapport des chances inférieure à 1 indique qu'une hausse de la variable explicative augmente la probabilité d'un choix de catégorie inférieure (baisse ou fermeture) et inversement pour les rapports supérieurs à l'unité. Il faut interpréter ces coefficients comme l'effet multiplicatif sur la probabilité d'un choix d'ordre supérieur d'une augmentation d'une unité des variables explicatives (voir p.159).

<sup>111</sup> Les fours électriques sont séparés des haut-fourneaux dans l'étude.

<sup>112</sup> Des effets fixes temporels et par zone géographique sont inclus dans tous les modèles de cette étude. Les effets individuels aléatoires concernent les usines.

<sup>113</sup> Entre parenthèses pour les modèles logits : z-statistique, \* ( $P > |z| < 0.10$ ), \*\* ( $P > |z| < 0.05$ ), \*\*\* ( $P > |z| < 0.01$ )

<sup>114</sup> EAF = Electric Arc Furnace, BOF = Basic Oxygen Furnaces.

<sup>115</sup> Production de base : Aciers longs

<sup>116</sup> Les remises à jours ne sont pas considérées comme une fermeture et sont supposés redéfinir l'âge technique à zéro.

---

### **CHAPITRE III**

#### **PRISE EN COMPTE DE L'ENERGIE GRISE DANS LE BILAN ENERGETIQUE DE L'INDUSTRIE : CONSEQUENCES SUR LA COMPETITIVITE**

---

### SOMMAIRE DU CHAPITRE III

<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>293</b>
<b><u>3.1) LA NECESSAIRE PRISE EN COMPTE DES FLUX D'ENERGIE DANS LES PRODUITS INDUSTRIELS .....</u></b>	<b><u>295</u></b>
<b>3.1.1) La nouvelle géographie de l'industrie requiert une mesure plus fine de l'énergie contenue dans les produits manufacturés .....</b>	<b>295</b>
3.1.1.1) Fragmentation de la chaîne de valeur industrielle dans le monde.....	295
3.1.1.2) Nécessité de la mesure des interdépendances énergétiques.....	297
3.1.1.3) Les échanges internationaux de biens intermédiaires .....	298
<b>3.1.2) Méthodes existantes d'analyse du contenu des produits manufacturés : des travaux surtout orientés vers le CO<sub>2</sub>.....</b>	<b>300</b>
3.1.2.1) Développement des méthodes basées sur les tableaux entrées-sorties.....	300
3.1.2.2) Les flux d'énergie grise et le débat sur la dépendance énergétique européenne.....	303
3.1.2.3) Etudes de l'impact distributif d'une taxe carbone.....	303
3.1.2.4) Elaboration d'une taxe carbone à la frontière .....	304
<b>3.1.3) Construction d'un modèle mondial intégrant les flux d'énergie dans l'industrie.....</b>	<b>305</b>
3.1.3.1) Développement d'une base de données sur la consommation d'énergie en Europe..	306
3.1.3.2) Construction d'un tableau entrées-sorties pour l'Europe et le Monde.....	308
i. Sources des données .....	308
ii. Construction de la matrice entrées-sorties européenne.....	309
iii. Construction de la matrice entrées-sorties mondiale .....	311
3.1.3.3) Méthodologie de calcul .....	312
i. Estimation du contenu en énergie des produits manufacturés.....	312
ii. Estimation du contenu en CO <sub>2</sub> des produits manufacturés.....	313
3.1.3.4) Apport de la désagrégation sectorielle .....	314
<b>3.1.4) Conclusion sur l'apport de ce nouveau modèle .....</b>	<b>316</b>
<b><u>3.2) BILAN GLOBAL PAR SECTEUR ET PAR PAYS DE L'ENERGIE GRISE.....</u></b>	<b><u>318</u></b>
<b>3.2.1) Une nouvelle carte des flux énergétiques dans le monde et en France.....</b>	<b>318</b>
3.2.1.1) Flux d'énergie et de CO <sub>2</sub> dans les produits manufacturés dans le monde.....	319
i. Flux d'énergie grise dans le monde.....	319
ii. Flux de CO <sub>2</sub> dans le monde.....	321
3.2.1.2) Flux d'énergie et de CO <sub>2</sub> dans le cas français .....	324
i. Flux d'énergie grise dans les exportations et les importations de la France .....	325
ii. Flux de CO <sub>2</sub> contenu dans les exportations et importations de la France .....	332
iii. Energie contenue dans les produits des secteurs industriels français .....	333
iv. Cas de l'électricité en France.....	335

<b>3.2.2) L'origine géographique et sectorielle des consommations d'énergie implique une dépendance forte de l'industrie aux prix non-domestiques de l'énergie.....</b>	<b>340</b>
3.2.2.1) Un quart de l'énergie contenue dans la production industrielle européenne provient de l'extérieur de l'Union européenne.....	340
3.2.2.2) La dépendance de l'industrie à l'énergie : un problème d'ampleur internationale ....	343
3.2.2.3) Discussion sur la problématique de la responsabilité des émissions de CO <sub>2</sub> .....	347
<b>3.2.3) Conclusion sur le bilan global de l'énergie et du CO<sub>2</sub> contenus dans les produits manufacturés .....</b>	<b>351</b>
<b><u>3.3) APPLICATIONS : DEMANDE ENERGETIQUE ET TAXE CARBONE.....</u></b>	<b>353</b>
<b>3.3.1) Impact d'un changement structurel de l'industrie sur la demande en énergie.....</b>	<b>353</b>
3.3.1.1) Méthodes et hypothèses .....	354
3.3.1.2) Principaux résultats sur l'évolution de la consommation d'énergie.....	355
i. <i>Premier scénario : croissance de la production aéronautique</i> .....	355
ii. <i>Second scénario : relocalisation de la production automobile</i> .....	360
<b>3.3.2) Effets distributifs d'une taxe carbone européenne sur les pays et sur les secteurs industriels.....</b>	<b>363</b>
3.3.2.1) Augmentation du prix des produits manufacturés liée à une taxe carbone .....	365
3.3.2.2) Les industries intensives en énergie ne sont pas les seules affectées par une taxe carbone .....	366
3.3.2.3) Une concurrence inégalement affectée selon les pays de l'Union européenne.....	368
3.3.2.4) Valeur d'une taxe carbone à la frontière pour les exportateurs hors-UE .....	370
<b>CONCLUSION DU CHAPITRE III .....</b>	<b>373</b>

## INTRODUCTION

Dans le chapitre précédent, le rôle de l'énergie dans la compétitivité de l'industrie a été étudié pour deux secteurs grands consommateurs d'énergie: l'industrie du papier et la sidérurgie. Les résultats des méthodes économétriques utilisées démontrent l'effet négatif des coûts de l'énergie sur leur compétitivité. Ces conclusions peuvent potentiellement être étendues aux autres IGCE. Cependant, il est difficile d'étudier, de façon aussi détaillée, l'impact des prix de l'énergie sur la compétitivité de l'ensemble des industries manufacturières.

De plus, la plupart des IGCE se situent en amont de la chaîne de production industrielle. Les produits de ces industries sont des biens intermédiaires nécessaires à la production des autres secteurs plus en aval. Dès lors, si l'énergie constitue une part moins importante des coûts de production dans ces secteurs, une hausse des prix de l'énergie se répercute tout de même dans le prix des biens intermédiaires consommés. Il existe donc un lien entre les prix de l'énergie et la compétitivité de la plupart des secteurs industriels. Cependant, ce lien, étant indirect, est plus complexe à identifier. De plus, les biens intermédiaires consommés ne sont pas forcément produits sur le même territoire, ils sont, au contraire, de plus en plus importés. Le commerce international des biens intermédiaires, en forte croissance depuis des années, est lié à une fragmentation importante de la chaîne de production industrielle entre secteurs et également entre pays. L'analyse économétrique, auparavant réalisée pour des secteurs en amont de cette chaîne, semble alors difficile à mettre en place pour les secteurs en aval.

Afin d'étudier le rôle des prix de l'énergie, et également des contraintes liées à une politique environnementale, dans l'ensemble des industries manufacturières, une autre méthode est alors nécessaire. Celle-ci doit pouvoir à la fois mesurer le lien énergétique qui relie les IGCE aux industries en aval, tout en tenant compte des interdépendances qui existent également entre les pays. Pour répondre à ces contraintes précises, une méthode se basant sur des tableaux entrées-sorties, décrivant les flux monétaires entre les secteurs économiques d'un pays, est développée dans ce chapitre.

Néanmoins, si cette méthode est habituelle pour des analyses au niveau national, elle est étendue au niveau international dans cette thèse. De plus, l'objectif de ces travaux est de clairement identifier la situation de l'énergie dans l'industrie mondiale afin de pouvoir déterminer la dépendance de la compétitivité de chaque secteur industriel aux prix de l'énergie. L'énergie contenue dans les flux de produits manufacturés dans le monde est alors calculée par la combinaison matricielle de tableaux entrées-sorties nationaux, de données sur les flux d'échanges commerciaux et d'une base de données sur la consommation d'énergie dans chaque secteur et dans chaque pays. L'étude se concentre plus spécifiquement sur l'industrie manufacturière européenne en détaillant précisément sa structure de production et de consommation. Chaque secteur industriel européen est clairement identifié.

Les résultats de ce modèle entrées-sorties permettent alors de déterminer le contenu en énergie (ou en CO<sub>2</sub>) de tous les produits manufacturés, c'est-à-dire la consommation d'énergie (ou émissions de CO<sub>2</sub>) qui est nécessaire à la fabrication d'un bien manufacturé tout au long de sa chaîne de production industrielle. Cette énergie sera par la suite décrite par les termes d'*énergie grise*. L'avantage des résultats obtenus est de pouvoir identifier l'origine géographique et sectorielle de cette énergie grise. La dépendance de la compétitivité d'une industrie aux prix de l'énergie à travers le monde peut alors quantifiée.

La première partie de ce chapitre démontre la nécessité d'une approche globale par les tableaux entrées-sorties pour étudier la situation complète de l'énergie dans l'industrie manufacturière. En s'appuyant sur la littérature existante, la construction du modèle intégrant les flux d'énergie grise dans l'industrie mondiale est alors décrite. Les résultats sur l'énergie et sur le CO<sub>2</sub> contenus dans les produits manufacturés, issus de ce modèle, sont alors analysés dans la seconde partie de ce chapitre. Cette nouvelle cartographie des flux d'énergie dans l'industrie permet alors l'analyse de la dépendance des secteurs industriels aux prix de l'énergie. Enfin, la dernière partie présente deux applications économiques possibles à partir de ces résultats : la première sur l'impact d'un changement structurel dans l'industrie sur la demande en énergie et la seconde à propos des effets distributifs d'une taxe carbone européenne sur les pays et sur les secteurs industriels.

### **3.1) LA NECESSAIRE PRISE EN COMPTE DES FLUX D'ENERGIE DANS LES PRODUITS INDUSTRIELS**

#### **3.1.1) LA NOUVELLE GEOGRAPHIE DE L'INDUSTRIE REQUIERT UNE MESURE PLUS FINE DE L'ENERGIE CONTENUE DANS LES PRODUITS MANUFACTURES**

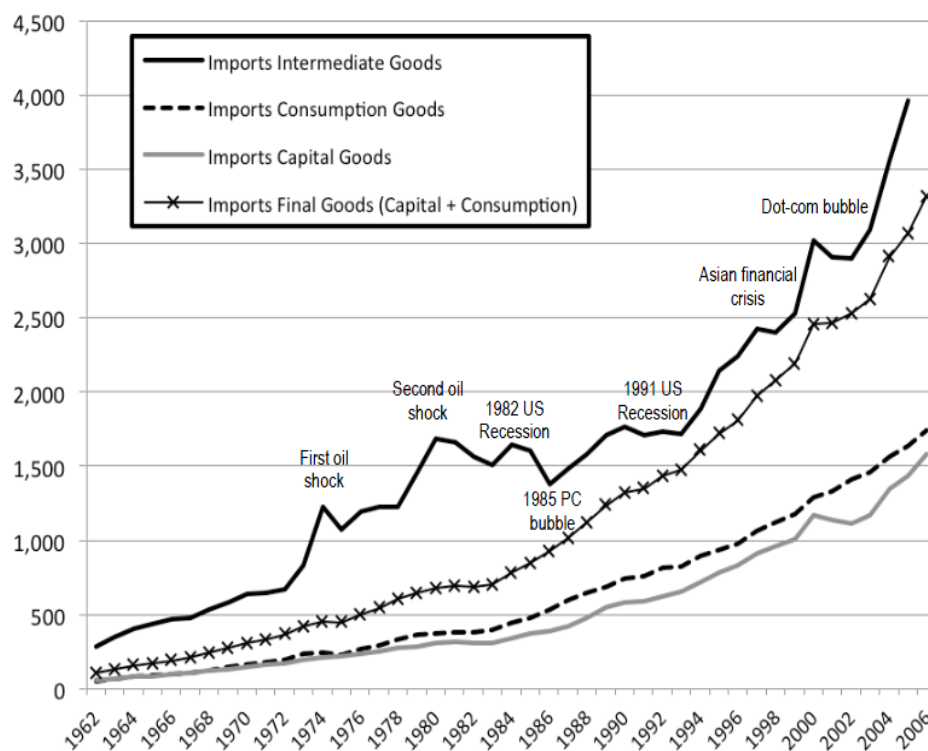
##### **3.1.1.1) FRAGMENTATION DE LA CHAÎNE DE VALEUR INDUSTRIELLE DANS LE MONDE**

L'économie mondiale est de plus en plus fortement intégrée et interdépendante. Il est désormais question d'une chaîne de valeur globale (« global value chain »), dans laquelle le processus de production est fragmentée entre de multiples acteurs ainsi qu'entre différents pays (Sturgeon & Memedovic, 2010). Ainsi, les échanges commerciaux de produits manufacturés, que ce soit pour les entreprises ou pour les consommateurs finaux, augmentent de manière considérable depuis deux ou trois décennies. D'une part, les acheteurs se fournissent de plus en plus sur les marchés internationaux et non plus seulement nationaux. D'autre part, la production de ces produits est divisée en de multiples étapes à travers le monde. Par exemple, la valeur ajoutée liée à la production d'un téléphone Nokia est répartie entre la Finlande, l'Europe de l'Ouest, l'Amérique du Nord et l'Asie (Stehrer et al., 2011).

La figure 137 décrit l'évolution des importations, des échanges, de produits manufacturés dans le monde depuis 1962, en valeur constante. Les échanges commerciaux ont augmenté de 500 milliards de dollars en 1962 à plus de 7500 milliards en 2006, avec deux périodes de forte croissance : l'une avant la crise pétrolière de 1972 et la seconde à partir des années 1990. Trois catégories de produits manufacturés peuvent être distinguées : les biens intermédiaires, les biens d'équipement et les biens de consommation. Les échanges ont augmenté très fortement et de manière à peu près similaire dans chacune de ces catégories. La part des échanges de produits intermédiaires<sup>117</sup>, qui participent au processus de fragmentation de la production d'une industrie, est d'environ 56 % de l'ensemble des échanges de biens dans les pays développés (Miroudot et al., 2009). Cette proportion est restée relativement stable ces dernières années. La plupart des pays exportent et importent simultanément les biens intermédiaires d'une même industrie, même si l'on considère des niveaux fins de désagrégation pour les secteurs (Stehrer et al., 2011). De plus, la part des pays émergents dans les échanges de biens intermédiaires est de plus en plus importante. La part de marché de ces pays dans le commerce mondial de biens intermédiaires, est passée de 25.5 % en 1992 à 35.2 % en 2006 (Sturgeon & Memedovic, 2010).

<sup>117</sup> Un bien intermédiaire peut être défini comme un produit entrant dans le processus de production qui a lui-même été transformé et qui, contrairement aux biens d'équipement, est consommé pendant son utilisation.





**Figure 137 : Evolution des importations de biens intermédiaires, de biens d'équipement et de consommation dans le monde entre 1962 et 2006 en valeur constante (Milliards \$<sub>2000</sub>).**  
Source : (Sturgeon & Memedovic, 2010)

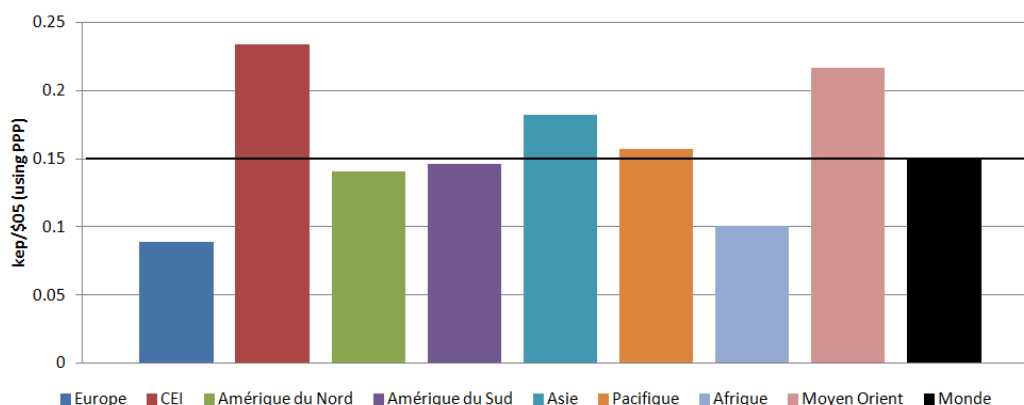
Ces chiffres démontrent l'accélération du processus de fragmentation de la production et l'importance croissante du phénomène d'externalisation internationale pour les entreprises. En effet, si les sièges sociaux sont situés dans le pays d'origine, la localisation des moyens de production dépend de la stratégie de l'entreprise. Les usines de production peuvent être situées dans différents pays et appartenir soit à l'entreprise, soit à des fournisseurs externes. Il existe donc des échanges commerciaux de biens intermédiaires intra- et extra-firmes (Miroudot et al., 2009). Auparavant, la chaîne de valeur pour les produits industriels était souvent intégrée dans une seule entreprise liée à un pays en particulier. Désormais, cette chaîne de valeur est de plus en plus décomposée et les fournisseurs externes ne sont plus seulement présents localement mais également au niveau mondial. Ainsi, entre 1995 et 2005, le ratio des investissements directs à l'étranger (IDE) sur les échanges de produits manufacturés a doublé (Miroudot et al., 2009). Il y a donc une restructuration organisationnelle et géographique des entreprises et de la chaîne de valeur au niveau international.

Cette restructuration de l'organisation des entreprises multinationales est favorisée par l'augmentation massive du volume et de la complexité des produits échangés (Miroudot et al., 2009). Les entreprises doivent faire face à une augmentation accrue de la concurrence de la part d'entreprises étrangères avec l'ouverture des marchés nationaux. Ces firmes cherchent alors à réduire les coûts de production et à augmenter la productivité en optimisant leur choix de localisation selon les avantages comparatifs de chaque pays (Fontagné & Toubal, 2011). Cette optimisation au niveau international a été rendue possible par la baisse du coût des transports maritimes, par la diminution généralisée des tarifs douaniers et par l'essor des nouveaux moyens de communications (Stehrer et al., 2011).

### 3.1.1.2) NECESSITE DE LA MESURE DES INTERDEPENDANCES ENERGETIQUES

Cette fragmentation de la chaîne de valeur industrielle remet en cause la seule prise en compte des consommations directes d'énergie de l'industrie manufacturière à partir du secteur énergétique. Le niveau élevé d'intégration des secteurs et des entreprises sur différents continents rend difficile la compréhension des interdépendances énergétiques qui peuvent exister. Par exemple, les statistiques actuelles de consommation d'énergie ne permettent pas d'estimer l'effet complet d'une variation des prix de l'énergie sur la valeur des biens industriels dans l'ensemble de l'industrie manufacturière. Une hausse des prix de l'énergie touche directement les secteurs consommateurs mais également tous les secteurs en aval de celui-ci. De même, l'évolution de la production d'un secteur industriel affecte sa consommation directe d'énergie mais également la consommation d'énergie dans les industries en amont, à la fois dans le pays concerné et à l'étranger. Les nouvelles stratégies de localisation des entreprises diminuent donc la pertinence des statistiques sur la consommation directe d'énergie des secteurs industriels.

Cela est d'autant plus significatif que l'intensité énergétique, ou la consommation spécifique, des industries manufacturières est très inégale selon les pays et les zones géographiques (Figure 138). Par exemple, « *Chine uses seven times more energy per US\$ of GDP than Japan* » (Ash & Bursi, 2007, p.6). En effet, les pays émergents, ceux dont les échanges de biens intermédiaires augmentent le plus vite, possèdent généralement la plus faible efficacité énergétique. Ne pas tenir compte de ces différences d'efficacité énergétique entre pays restreint donc la portée des estimations de l'énergie nécessaire pour produire un bien. Ce problème concerne également les émissions de CO<sub>2</sub>. Afin de mieux élaborer les politiques énergétiques et environnementales internationales, une nouvelle mesure de la consommation d'énergie et des flux d'énergie contenue dans les produits manufacturés, intégrant la nouvelle géographie de l'industrie mondiale, est donc nécessaire.

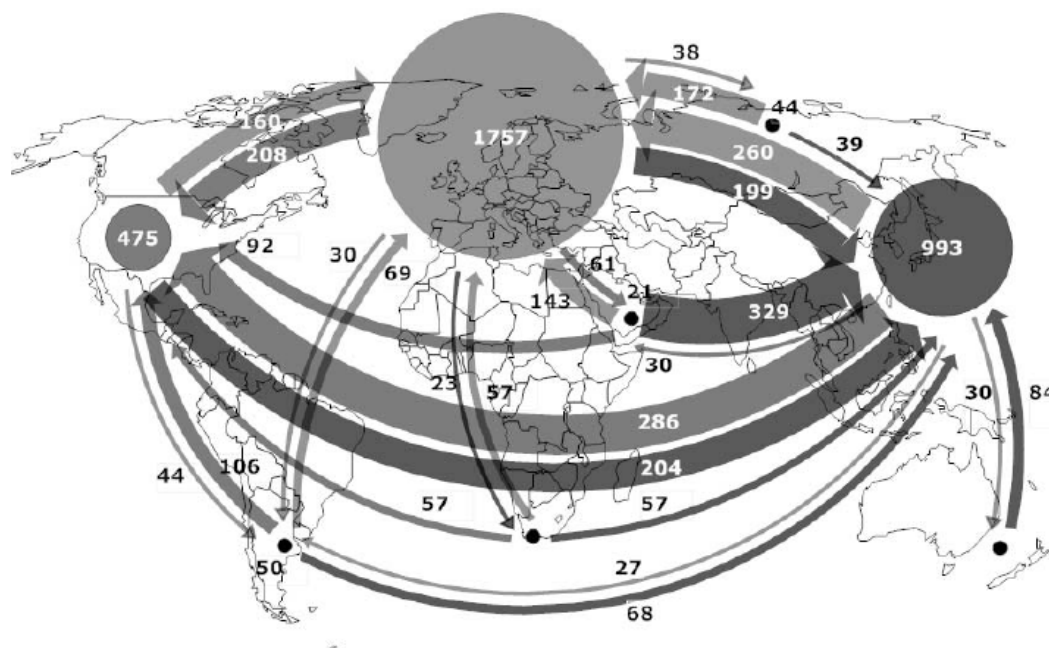


**Figure 138 : Intensité énergétique de l'industrie dans les grandes régions du monde en kilo équivalent pétrole sur la valeur ajoutée de l'industrie manufacturière (hors énergie) en \$<sub>2005</sub> à parité de pouvoir d'achat. Source : (Enerdata, 2010)**

### 3.1.1.3) LES ECHANGES INTERNATIONAUX DE BIENS INTERMEDIAIRES

La géographie des échanges internationaux permet d'estimer l'ampleur des valeurs en jeu dans le calcul de l'énergie grise. L'étude des biens intermédiaires permet plus précisément de déterminer l'importance d'un calcul détaillé au niveau mondial, du fait de la fragmentation de la production industrielle.

La figure 139 représente les principaux flux d'échanges de biens intermédiaires dans le monde. Les échanges intra- et inter-régionaux sont distingués respectivement par des cercles et des flèches. Les transactions les plus importantes de biens intermédiaires, en 2006, ont lieu entre l'Europe, l'Asie et l'Amérique du Nord. Les échanges intra-zones sont également très significatifs, surtout en Europe et en Asie (Sturgeon & Memedovic, 2010). Il est probable que les flux d'énergie contenue dans les produits manufacturés suivent une répartition géographique proche. Néanmoins, la structure des échanges ainsi que l'efficacité énergétique peuvent modifier les résultats de l'énergie grise par rapport à ceux des échanges en valeur.



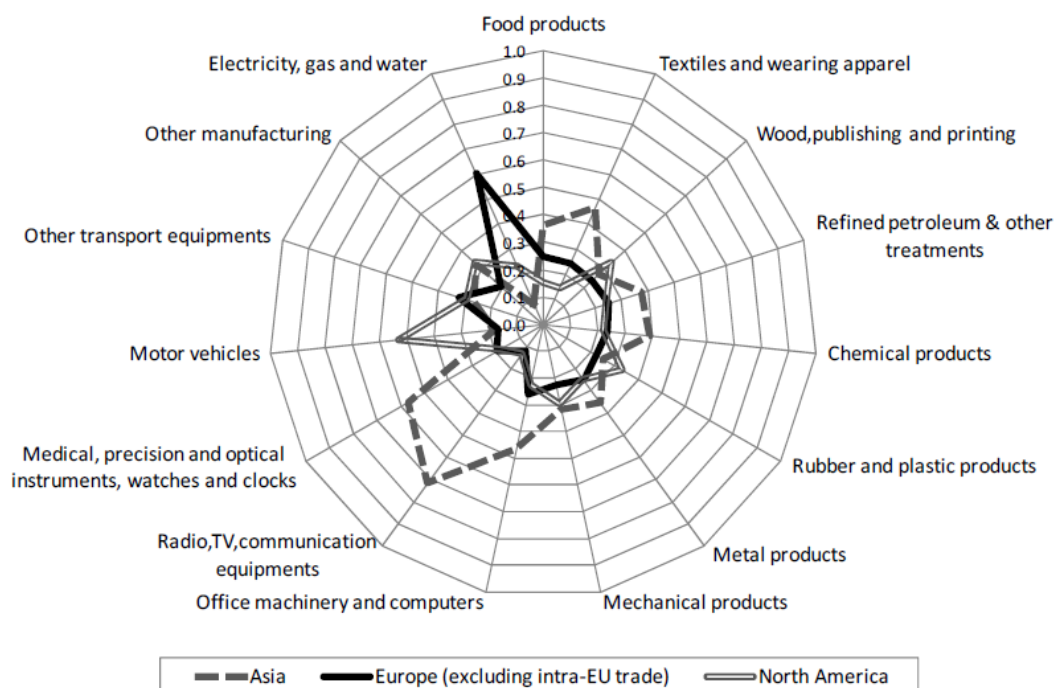
**Figure 139 : Echanges intra- et inter-régionaux de biens intermédiaires en 2006 (Milliards de \$). Les cercles représentent les échanges intra-régionaux et les flèches les échanges inter-régionaux. Seuls les flux de plus de 20 milliards de dollar sont pris en compte.**

Source : (Miroudot et al., 2009)

Parmi les biens intermédiaires les plus échangés, les cinq premières industries concernées sont l'électronique, l'automobile, les matériaux de base (métal, bois, papier), la chimie/plasturgie et les produits métalliques (Sturgeon & Memedovic, 2010). Les échanges de produits intermédiaires de ces cinq secteurs représentaient environ 3 291 milliards de dollars en 2006, soit 34 % du commerce mondial. Trois de ces cinq industries les plus internationalisées sont des industries fortes consommatrices d'énergie.

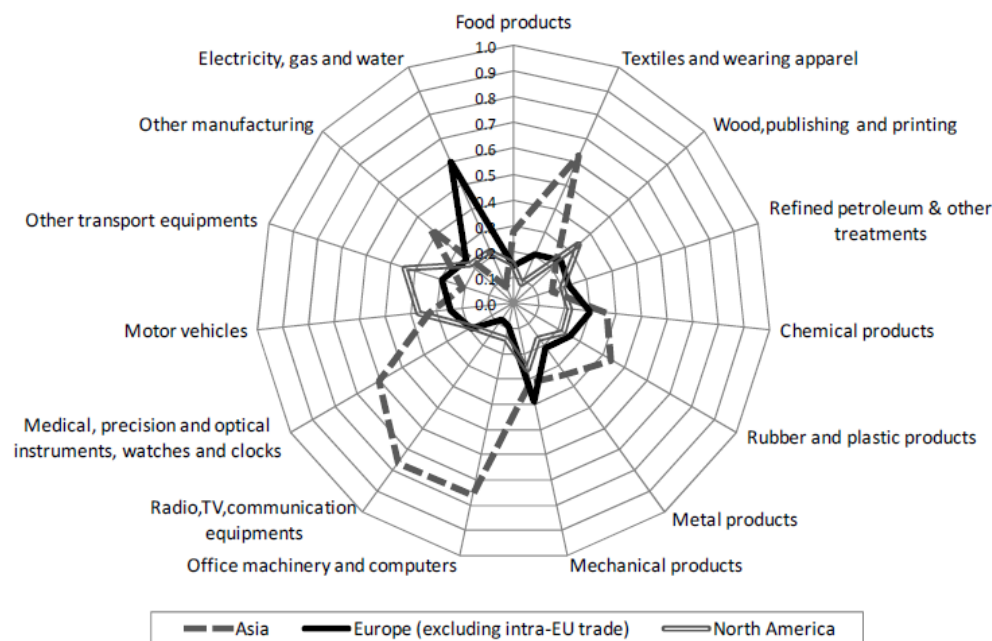
Enfin, les deux figures suivantes décrivent les parts de marché de chaque région dans le commerce mondial de biens intermédiaires par type de produits<sup>118</sup> (Figures 140 et 141). Cela met en évidence la spécialisation productive de chaque région (Miroudot et al., 2009), notamment dans les IGCE. On constate, par exemple, que l'Asie importe des quantités importantes de biens intermédiaires provenant des industries chimiques et de la production des métaux. L'Amérique du Nord importe davantage de biens intermédiaires issus de la plasturgie, de l'industrie du bois et de celle du papier. Ces deux régions ont donc probablement des flux d'importations intensifs en énergie.

Le niveau d'énergie contenue dans les flux du commerce mondial est donc probablement élevé. En effet, la production industrielle d'un pays dépend désormais beaucoup des importations de biens intermédiaires. Ces interdépendances internationales existent à chaque niveau de la chaîne de valeur industrielle. Ces données démontrent donc la nécessité de travailler à l'échelle mondiale dans le calcul de l'énergie grise.



**Figure 140 : Part des régions dans les importations de biens intermédiaires dans le monde en 2006. Source : (Miroudot et al., 2009).**

<sup>118</sup> Le commerce intra-européen y est exclu, ce qui réduit l'ampleur des parts de marché pour cette région.



**Figure 141 : Part des régions dans les exportations de biens intermédiaires dans le monde en 2006. Source : (Miroudot et al., 2009)**

### 3.1.2) METHODES EXISTANTES D'ANALYSE DU CONTENU DES PRODUITS MANUFACTURES : DES TRAVAUX SURTOUT ORIENTES VERS LE CO<sub>2</sub>

L'étude de l'énergie grise permet de calculer le contenu énergétique des produits manufacturés en incluant tout le cycle de production d'un bien. C'est une méthode de calcul macro-économique qui se base principalement sur la connaissance des flux monétaires entre secteurs et entre pays. Cette méthode est ainsi basée sur les tableaux entrées-sorties (TES) des comptes nationaux. Le travail réalisé dans cette partie s'appuie sur des fondations théoriques bien établies. La contribution de cette étude n'est pas dans le développement d'une nouvelle méthodologie de calcul, mais dans l'amélioration de celle-ci et dans la nouvelle manière d'analyser les résultats sous l'angle de la compétitivité de l'industrie. Cette section présente donc une revue des travaux précédents sur le sujet, qui sont souvent orientés vers les questions de responsabilités environnementales. Les principaux points des débats actuels sur la dépendance énergétique et sur les effets d'une taxe carbone, dans lesquels s'inscrit l'analyse des résultats de cette étude, sont également introduits.

#### 3.1.2.1) DEVELOPPEMENT DES METHODES BASEES SUR LES TABLEAUX ENTREES-SORTIES

Durant la dernière décennie, de nombreux travaux ont développé des modèles intégrant des tableaux entrées-sorties (TES) afin de décrire la consommation des ressources et la pression environnementale liées à la production et à la consommation dans l'économie. Les tableaux entrées-sorties décrivent les flux de ventes et d'achats, sous forme monétaire, entre les acteurs d'une économie. Chaque élément de ces tableaux indique la valeur des produits fournis par un secteur à un autre secteur du pays ou ce qui

est exporté. Inversement, il est souvent possible de distinguer l'origine des produits consommés entre le pays domestique et les importations. Les TES donnent ainsi une vision complète des relations bilatérales entre les secteurs d'une économie. Ces tableaux, souvent utilisés dans les comptes nationaux, permettent principalement de répondre à la question suivante : « *What output or raw materials and semimanufactured goods is needed to produce a given volume of final output ; or what output of the various industries would be needed to meet an assumed demand for final goods and services, a magnitude which is either identical with or can be derived from gross national product* » (National Accounts Review Committee, 1958, p.142). C'est donc une approche technico-économique de l'économie dans laquelle il n'y a pas d'analyse des comportements. Ces tableaux sont habituellement analysés par la méthode de Leontief, qui permet la transformation des données sur les flux monétaires en matrices d'équations linéaires déterminant les interdépendances entre secteurs économiques.

L'objectif principal des travaux précédents utilisant les TES, a été de définir un outil de mesure de l'impact des consommations finales de biens sur l'environnement. Cet outil identifie la localisation des émissions de polluants tout au long de la chaîne de production et de distribution de ces biens. Ces émissions sont ensuite allouées au consommateur final. La définition d'une nouvelle comptabilité des émissions de CO<sub>2</sub> est donc possible en analysant les émissions induites par la consommation et non pas par la production. C'est donc une approche très différente de l'actuelle qui consiste à imputer la responsabilité des émissions directement aux émetteurs. L'intérêt est alors de pouvoir fournir un descriptif bien plus complet des responsabilités et des actions potentielles dans le cadre des négociations et de l'élaboration de politiques de réduction des émissions de CO<sub>2</sub>. Face à un enjeu climatique aux conséquences globales, il est important de favoriser l'acceptation politique et la coopération des nations en utilisant une comptabilité complète et internationale des émissions et des flux de gaz à effet de serre (Davis et al., 2011; Wiedmann, 2009). Par exemple, l'analyse en commun des fournisseurs de matières premières, des producteurs industriels et des consommateurs peut permettre d'orienter la diffusion des technologies bas-carbone dans les pays clés (Guan & Reiner, 2009). La méthodologie de l'étude présentée ici, s'appuie sur ces précédents travaux mais l'analyse se concentre plus particulièrement sur l'industrie et les enjeux de compétitivité.

Différentes méthodes d'analyses des TES existent et sont présentées de façon exhaustive dans les publications de T. Wiedmann et al. (Wiedmann et al., 2007; Wiedmann, 2009). Dans un premier temps, les modèles entrées-sorties sur une seule région (« single-region input-output », (SRIO)) ont été développés à partir des années 1970. Ces modèles utilisent des données relatives à un pays ou à une région, en isolation du reste de l'économie mondiale. Pour l'énergie ou le CO<sub>2</sub> contenu dans les échanges internationaux, les technologies de production étrangères sont considérées comme équivalentes à celles du pays étudié. C'est clairement une hypothèse forte puisque l'intensité énergétique, les fonctions de production et les émissions de CO<sub>2</sub> varient significativement d'un pays à l'autre. Cependant, ces modèles ont souvent l'avantage d'utiliser une nomenclature des industries plus détaillée, car il n'est pas nécessaire d'avoir des tableaux entrées-sorties avec une structure commune à plusieurs pays. Le biais induit par l'agrégation des secteurs est alors réduit, surtout si des secteurs hétérogènes comme la chimie ou le papier/édition peuvent être séparés (Weber, 2008).

Comme décrit précédemment, les enjeux énergétiques et environnementaux peuvent avoir des effets au niveau mondial. En conséquence, les modèles entrées-sorties sur plusieurs pays ou régions (« multi-regional input-output », MRIO), sont de plus en plus présents dans la littérature. Ce type de modèles élargit l'approche classique, uniquement nationale, des TES avec la prise en compte des différences



qui existent pour une même industrie dans différents pays. Ces modèles utilisent des bases de données internationales pour les TES, les flux de commerce bilatéraux, les consommations d'énergie et les émissions de polluants. Un tel développement s'est révélé possible grâce à l'émergence de bases de données cohérentes et comparables à un niveau international. Les TES issus du projet GTAP<sup>119</sup> ainsi que des données de l'OCDE constituent les sources principales de la plupart des modèles MRIO : (Davis & Caldeira, 2010; Nakano et al., 2009) ou (Atkinson et al., 2011; Hertwich & Peters, 2009). Cette approche est choisie pour cette étude puisque l'objectif est de comparer la situation et le rôle des secteurs industriels dans différents pays par rapport aux questions énergétiques et environnementales.

Différentes familles d'hypothèses existent pour construire les modèles MRIO. Le traitement du commerce international constitue l'un des principaux points de modélisation. En effet, les importations représentent en moyenne 40 % de l'empreinte carbone d'une nation. Une mauvaise prise en compte de ces flux commerciaux peut donc mener à de sérieux biais dans les résultats (Andrew et al., 2009). La manière de prendre en compte ces échanges différencie deux types de modèles MRIO : l'un repose sur une hypothèse de « commerce unidirectionnel » et l'autre « complet » se base sur une représentation complète de ces flux. Le premier type de modèle suppose que seuls les flux d'échanges directs entre une économie et les autres régions existent. Les échanges antérieurs entre ces autres régions ne sont pas comptabilisés. Si un pays  $i$  importe un produit  $k$  d'un pays  $j$ , cette famille de modèle suppose alors que toute la chaîne de production de  $k$  est localisée dans le pays  $j$ . Cette approche ne tient pas en compte que le pays  $j$  puisse à son tour également importer des biens intermédiaires d'autres pays pour produire  $k$  (Atkinson et al., 2011; Peters & Hertwich, 2009).

Cette hypothèse de « commerce unidirectionnel » simplifie beaucoup la construction des modèles car moins de données et de calculs sont nécessaires. Initialement, les auteurs considéraient les erreurs induites par cette simplification comme mineures. R. Andrew et al. (2009) démontrent que le niveau d'erreur est positivement corrélé avec le nombre de régions ou de pays inclus dans le modèle. Dans le modèle développé pour notre étude, 49 régions ou pays sont distingués. D'après les résultats de R. Andrew et al., ce nombre conséquent de zones géographiques pourrait impliquer une erreur d'environ 10-15 %, si l'hypothèse de « commerce unidirectionnel » était utilisée.

Les modèles « complets » des MRIO, n'utilisent pas cette simplification et intègrent la chaîne complète de production des biens. Les échanges commerciaux sont distingués entre d'une part les biens intermédiaires et d'autre part les biens de consommation. Le biais d'estimation lié aux échanges commerciaux est alors corrigé. Cependant, le besoin de données est bien plus important et les calculs plus complexes. Disposant des données nécessaires, la présente étude utilise cette méthode complète afin d'augmenter la précision des résultats. En effet, l'un des objectifs de cette étude de l'énergie grise est d'identifier les effets des prix de l'énergie et des contraintes environnementales sur la compétitivité de secteurs particuliers. Il est donc essentiel d'obtenir des résultats assez précis pour chacun de ces secteurs.

---

<sup>119</sup> Global Trade Analysis Project (Narayanan et al., 2008)



### 3.1.2.2) LES FLUX D'ENERGIE GRISE ET LE DEBAT SUR LA DEPENDANCE ENERGETIQUE EUROPEENNE

---

L'analyse de l'énergie contenue dans les produits manufacturés met en évidence les flux « cachés » de l'énergie et du CO<sub>2</sub> dans les industries européennes et mondiales. Cette nouvelle connaissance permet d'appréhender le sujet de la dépendance énergétique du point de vue de la production industrielle. Dans cet objectif, une quantification de l'origine de l'énergie contenue dans les produits industriels européens est réalisée. Notamment, si l'énergie consommée dans un secteur national provient du secteur énergétique domestique, une partie de l'énergie contenue dans la production nationale provient également d'autres pays par l'intermédiaire des biens intermédiaires importés. Ainsi, l'évolution des prix de l'énergie à l'étranger peut également avoir une influence sur la compétitivité de l'industrie domestique.

Ce point est directement lié à la problématique d'une politique énergétique européenne. Celle-ci a traditionnellement été orientée sur les questions de dépendance énergétique de l'Europe vis-à-vis des importations d'énergie. Les pays de l'Union européenne importent environ 50 % de leur besoin énergétique (Belkin, 2008). Actuellement, la Commission européenne promeut le développement d'une politique énergétique commune (« Common Energy Policy ») qui concerne surtout les infrastructures énergétiques régionales, l'instauration d'un marché commun de l'énergie, la poursuite d'une approche plus coopérative des négociations énergétiques avec les fournisseurs extérieurs ainsi que le développement durable (Belkin, 2008; Pointvogl, 2009). Malgré tout, A. Pointvogl déclare « *Today's European energy policy is characterised by national approaches portraying it as one of the least successful areas of integration despite its importance for our everyday life* » (2009, p.5704).

Une manière de réaliser le déploiement d'une communauté concrète sur la question énergétique dans la zone européenne réside dans le développement d'une nouvelle perception de cette problématique. L'hétérogénéité des préférences nationales en matière de politique énergétique constitue une barrière majeure à une réelle intégration européenne (Pointvogl, 2009). Dans une étude sur l'approche politique européenne de la question énergétique, A. Mañé-Estrada déclare que la création d'un « *pan-European geo-energy space* » pourrait être un moyen d'établir une meilleure coopération entre pays européens. Cet espace *geo-energy* serait une zone géographique dans laquelle les relations entre pays par rapport à l'énergie seraient organisées autour d'intérêts communs (Mañé-Estrada, 2006).

### 3.1.2.3) ETUDES DE L'IMPACT DISTRIBUTIF D'UNE TAXE CARBONE

---

L'analyse de l'énergie grise permet d'évaluer l'impact distributif d'une hausse des prix de l'énergie ou d'une contrainte environnementale fiscale. En effet, un secteur n'est pas seulement affecté par les prix ou les taxes qu'il doit directement payer pour sa production, mais également par la hausse généralisée des prix dans l'industrie et donc des biens intermédiaires qu'il consomme. Le calcul de l'énergie ou du CO<sub>2</sub> contenu dans un produit manufacturé permet donc d'évaluer la hausse potentielle des prix tout au long de la chaîne de production. Peu d'études sur les conséquences d'une taxe carbone incluent cette notion d'énergie grise. Néanmoins, notre analyse se base sur deux précédents travaux traitant de l'effet distributif d'une telle taxe parmi les différents secteurs de l'économie.

RD. Morgenstern et al. (2004) utilisent un TES pour 361 produits aux Etats-Unis afin d'analyser l'impact distributif sur l'industrie manufacturière d'une taxe sur les émissions de CO<sub>2</sub>. Les auteurs

calculent le coût total, lié aux émissions directes et indirectes, d'une taxe ou de permis sur les émissions. Ils considèrent que ces coûts se transmettent entre les secteurs, d'amont en aval. Les industries les plus affectées par cette hausse des coûts sont ensuite identifiées. Deux conclusions principales sont obtenues. D'abord, le niveau des coûts supplémentaires engendrés par une taxe carbone est très inégal selon les secteurs. De plus, cette hausse des coûts provient de mécanismes très différents ; émissions directes, hausse des prix de l'électricité, augmentation du prix des biens intermédiaires. De telles variations des coûts entre industriels peuvent alors fortement freiner l'acceptation d'une politique environnementale sur le CO<sub>2</sub>, si les secteurs les plus touchés ne sont dédommages.

I. Mongelli et al. (2009) construisent un modèle entrées-sorties dans le but d'estimer les effets à court terme d'une taxe carbone en Italie parmi 59 secteurs couvrant toute l'économie. Les auteurs simulent l'augmentation des prix induite par une taxe Pigouvienne<sup>120</sup> imposée sur la consommation d'énergie, proportionnellement au contenu en carbone de ces énergies. Il en résulte une faible augmentation du prix des biens pour une taxe carbone nationale de 20€/tCO<sub>2</sub>. Taxes que les auteurs considèrent équivalentes à des permis d'émissions. Les industries les plus pénalisées seraient : produits minéraux non-métalliques, métaux et alliages ainsi que les produits papetiers avec une hausse respective des prix de 1.5 %, 1.0 % et 0.6 %.

L'étude de l'énergie grise, présentée ici, permet également d'étudier l'impact distributif d'une taxe carbone au niveau européen. L'avantage de cette nouvelle étude est de conserver le niveau de précision des études précitées, voire de l'améliorer, tout en le généralisant à plusieurs pays. De ce fait, une comparaison précise entre secteurs et également entre pays européens est possible. De plus, comme expliqué précédemment, un modèle MRIO « complet » est construit, ce qui permet de tenir compte des échanges internationaux et des différences dans les procédés de production entre pays dans l'estimation de l'impact distributif d'une taxe carbone.

#### 3.1.2.4) ELABORATION D'UNE TAXE CARBONE A LA FRONTIERE

---

Comme le modèle entrées-sorties construit dans cette étude relie à la fois les pays européens et les principales zones économiques du monde, il est possible d'évaluer l'impact d'une taxe à la frontière sur le CO<sub>2</sub>. Avec une telle taxe, certains experts et politiciens envisagent de limiter les possibles effets négatifs pour la compétitivité d'une politique environnementale. Le débat sur une taxe à la frontière porte actuellement sur la compréhension de ces effets sur le commerce internationale et sur la possibilité de mesurer le contenu en carbone des produits importés.

Notamment, l'évaluation des montants d'émissions de CO<sub>2</sub> à imputer aux importations est très complexe. La problématique est la suivante : faut-il taxer uniquement les émissions du dernier producteur industriel avant importation ou est-il nécessaire de prendre en compte tout le CO<sub>2</sub> contenu dans le produit importé ? La deuxième proposition est la plus équitable mais est fortement limitée par le manque d'informations précises sur les émissions sectorielles de CO<sub>2</sub> dans le monde. A l'inverse, si l'on ne tient compte que des émissions liées au dernier secteur exportateur, l'ampleur de ce dernier secteur est dépendante de la nomenclature utilisée. Par exemple, pour un produit métallique issu d'une forge, il est possible de ne considérer que les émissions de la forge sans intégrer les émissions liées à

---

<sup>120</sup> Une taxe Pigouvienne a pour but d'internaliser les coûts sociaux induits par une activité polluante (Mongelli et al., 2009).

la production du métal de base. Dans ce cas, un pays exportateur n'aurait aucun intérêt à exporter ces métaux de base, mais plutôt à exporter les produits semi-finis. O. Godard (2007) ainsi que R. Ismer et K. Neuhoﬀ (2007) proposent de prendre en compte un contenu énergétique basé sur les usines les plus eﬃcaces au monde (« Best Available Technology »). Cependant, du fait de conditions locales spéciﬁques, certaines usines produisent avec des contenus en CO<sub>2</sub> proches de zéro. Une autre solution consiste alors à utiliser un benchmark européen pour évaluer le contenu en énergie ou en CO<sub>2</sub> (Monjon & Quirion, 2010). Les produits importés seraient alors taxés de la même manière que les produits domestiques. Cette solution a l'avantage de favoriser l'acceptation politique d'une taxe à la frontière, surtout dans le cadre juridique de l'OMC<sup>121</sup>, et de réduire signiﬁcativement les coûts administratifs. En outre, il a été démontré, dans le cadre du ciment, que ce système serait presque aussi eﬃcace qu'une taxe à la frontière sur le contenu réel (Demailly & Quirion, 2008; Monjon & Quirion, 2010). Dans cette étude, seul l'impact d'une taxe à la frontière pour laquelle tout le contenu en CO<sub>2</sub> serait pris en compte, est étudié.

### 3.1.3) CONSTRUCTION D'UN MODELE MONDIAL INTEGRANT LES FLUX D'ENERGIE DANS L'INDUSTRIE

Notre étude se base sur la construction d'un modèle avec des tableaux entrées-sorties multi-régionaux (MRIO) incluant les échanges commerciaux multi-directionnels et des caractéristiques<sup>122</sup> de production propres à chaque pays. La principale contribution de ces travaux est d'utiliser une désagrégation importante de l'industrie manufacturière avec 59 secteurs industriels distincts dans chacun des 28 pays européens reliés à 17 secteurs industriels, plus agrégés, dans 22 régions dans le monde (les listes des pays et des secteurs inclus sont présentées dans les annexes C et D. Le modèle couvre ainsi toutes les industries manufacturières, du secteur des mines à celui de la production d'appareils électroniques, mais exclut le secteur énergétique. Dans les deux zones géographiques étudiées, Union européenne (UE) et hors-UE, le périmètre sectoriel est équivalent mais avec un niveau d'agrégation différent<sup>123</sup>.

Il est essentiel d'avoir une précision suﬃsante dans la description des secteurs et des pays aﬃn d'être capable d'identiﬁer les diﬀérences technologiques et économiques propres à chaque industrie étudiée. Des diﬀérences dans l'intensité énergétique, la consommation des biens intermédiaires et la structure d'importation peuvent fortement modiﬁer les résultats pour un même secteur entre diﬀérents pays. Si l'objectif est d'identiﬁer les secteurs industriels les plus aﬀectés par une hausse des prix de l'énergie ou par une taxe environnementale, il est crucial d'utiliser une nomenclature précise des industries étudiées. En outre, un niveau de désagrégation sectorielle important réduit de manière signiﬁcative les erreurs dans le calcul matriciel.

Cependant, nous n'étudions pas toute l'économie puisque les services, les transports, l'agriculture ainsi que les consommateurs ﬁnaux ne sont pas inclus. En 2005, la consommation d'énergie de l'industrie manufacturière européenne s'élevait à 2 970 Mtep (millions de tonnes équivalent pétrole). Pour les autres secteurs en relation avec l'industrie mais non pris en compte dans cette étude, la

<sup>121</sup> OMC : Organisation mondiale du commerce

<sup>122</sup> Des tableaux entrées-sorties et des intensités énergétiques diﬀérentes pour chaque pays.

<sup>123</sup> Les industries dans l'Union européenne sont classées selon la nomenclature française NES114 (proche du système européen NACE Rev1.1). Dans le modèle mondial, hors-UE, les secteurs sont sous la nomenclature propre à GTAP. Les correspondances entre ces nomenclatures sont explicitées en annexe D.

consommation d'énergie était de 694 Mtep dans les services, 170 Mtep dans l'agriculture et 800 Mtep dans les transports de marchandises (Enerdata, 2010; IEA, 2009b). De plus, l'énergie consommée représente la consommation finale d'énergie en aval de l'industrie énergétique.

La première partie du travail de construction du modèle TES consiste à construire une base de données complète sur les consommations d'énergie de chaque secteur industriel européen en 2005, à partir de leurs dépenses énergétiques. Ensuite, tous les tableaux entrées-sorties des pays européens sont combinés en utilisant les données sur les flux bilatéraux de produits manufacturés. Ces opérations sont également réalisées pour les autres régions mondiales à partir des données de GTAP (Narayanan et al., 2008). On obtient alors un TES regroupant tous les secteurs industriels dans le monde. Finalement, un calcul matriciel permet de lier ce TES avec les données sur la consommation d'énergie dans l'industrie mondiale. L'avantage du calcul matriciel est de permettre de calculer les consommations d'énergie tout au long de la chaîne production industrielle et sur plusieurs pays.

### 3.1.3.1) DEVELOPPEMENT D'UNE BASE DE DONNEES SUR LA CONSOMMATION D'ENERGIE EN EUROPE

Le calcul de l'énergie grise au niveau européen nécessite d'avoir des données précises sur les consommations d'énergie par secteur dans chaque pays. Une telle base de données n'existe pas, il est nécessaire de la construire. L'objectif est d'obtenir les données physiques de consommation d'énergie pour les 59 secteurs industriels de l'étude, dans 28 pays européens. Différents formes d'énergie sont distinguées : électricité, gaz, combustibles solides et produits pétroliers.

La construction de ces données sur la consommation d'énergie dans l'industrie repose sur la combinaison de deux bases de données. L'une, Enerdata<sup>124</sup> (2010), fournit des données sur les consommations d'énergie sous forme physique (en tep), pour douze secteurs industriels agrégés (Tableau 30) et pour les quatre formes d'énergie. Les consommations d'énergie en tant que matières premières sont également prises en compte, principalement pour la chimie et la sidérurgie. Le niveau de précision sectoriel n'est cependant pas suffisant pour les besoins de l'étude. La seconde base de données, Eurostat 'Structural Business Statistics' (2012a), fournit la valeur monétaire des achats de produits énergétiques avec une nomenclature<sup>125</sup> très détaillée pour les secteurs industriels européens, pour toutes les formes d'énergie.

Sidérurgie	Minéraux non métalliques	Mines et carrières	Métaux non ferreux	Automobiles et transport	Bois
Chimie	IAA	Industries mécaniques	Papiers et cartons	Textiles et cuirs	Autres industries

**Tableau 30 : Secteurs industriels agrégés présents dans la base de données ENERDATA.**  
IAA = Industries Agro-alimentaires

Néanmoins, les prix des énergies pour chaque secteur dans chaque pays ne sont pas connus. L'hypothèse suivante est alors utilisée : les prix pour un type d'énergie sont égaux dans les sous-

<sup>124</sup> Enerdata est une entreprise de conseil indépendante spécialisée dans les bases de données sur l'énergie.

<sup>125</sup> Niveau à 3 chiffres de la nomenclature NACE

secteurs d'un des grands secteurs agrégés (Tableau 30). Par exemple, on suppose que le prix de l'électricité est le même pour la chimie de base au Danemark que pour la parachimie dans ce même pays. Il suffit alors de calculer la répartition des dépenses pour un type d'énergie dans les sous-secteurs d'un secteur agrégé, puis de multiplier la part de chaque sous-secteur par la consommation physique totale du secteur agrégé.

Le tableau 31 illustre cette méthode pour l'électricité dans le secteur du papier et de l'édition en France, qui est composé de trois sous-secteurs : la fabrication de pâte à papier et de papier, la fabrication d'articles en papier et en carton ainsi que l'édition. La base Enerdata fournit la première ligne de ce tableau, soit une consommation annuelle de 1.15 Mtep d'électricité dans tout le secteur du papier et de l'édition en France. Ensuite, la base de données Eurostat SBS fournit la seconde ligne du tableau, c'est-à-dire les achats d'électricité en valeur monétaire de chacun des sous-secteurs en France, durant la même année. Si l'on suppose que les prix de l'électricité sont égaux parmi les sous-secteurs du secteur agrégé du papier/édition français, alors il suffit de répartir la consommation totale d'électricité selon la répartition des achats. Finalement, la consommation physique d'électricité est obtenue pour chaque sous-secteur. Cette opération est alors répétée pour tous les secteurs industriels européens.

France	Consommation total secteur (Mtep)	Fabrication de pâte à papier et de papier	Fabrication d'articles en papier et en carton	Edition, Imprimerie, Reproduction
Consommation totale (Mtep)	1.15	?	?	?
Achat d'électricité (Million €)	513.4	283.7	150.6	79.1
Répartition		55.3%	29.3%	15.4%
Consommation par secteur (Mtep)	1.15	0.64	0.34	0.18

**Tableau 31 : Illustration de la méthode de répartition des consommations d'énergie physique par sous-secteur**

Néanmoins, comme les formes d'énergies « Produits pétroliers » ainsi que « Combustibles solides » ne sont pas détaillées dans les données, le calcul considère que ces deux formes d'énergies ont des prix homogènes. Or, les produits pétroliers peuvent être très variés (fioul lourd, naphta, fioul domestique, essence) ainsi que, dans une moindre mesure, les combustibles solides (charbon métallurgique, charbon vapeur, lignite). Les prix peuvent donc varier pour une même forme d'énergie.

Afin de tester cette possibilité, les résultats de la méthode sont comparés à une base de données<sup>126</sup> plus précise sur les consommations d'énergie par secteur en France. La décomposition fonctionne bien pour l'électricité, le gaz et les combustibles solides ; peu d'écarts existent entre les deux bases de données. Ensuite, les résultats sont légèrement moins précis sur les produits pétroliers, notamment pour les secteurs qui consomment peu de pétrole. En effet, pour les secteurs grands consommateurs de

<sup>126</sup> Enervision est une base de données développée en interne par EDF pour les secteurs industriels français.

produits pétroliers, la chimie surtout, l'écart est plus faible. De manière générale, la méthode de décomposition fonctionne bien sur le cas français. On peut donc confirmer que la méthode de décomposition présentée permet d'obtenir une base de données sur la consommation d'énergie dans 59 secteurs industriels en Europe.

### 3.1.3.2) CONSTRUCTION D'UN TABLEAU ENTREES-SORTIES POUR L'EUROPE ET LE MONDE

#### i. Sources des données

Les TES proviennent de deux sources de données différentes selon que le pays étudié appartient à l'Union européenne ou non<sup>127</sup>. Dans le premier cas, les tableaux entrées-sorties provenant de Eurostat sont utilisés (Eurostat, 2009). Pour les pays non-UE, ces TES proviennent de la base de données GTAP (Global Trade Analysis Project version 7, Narayanan et al., 2008). Toutes les valeurs sont converties dans une devise commune par l'intermédiaire du taux de change des marchés, c'est-à-dire du dollar 2004 à l'euro 2005 pour les données non européennes.

Un point important, dans l'utilisation des TES et des flux commerciaux pour l'analyse du contenu en énergie des produits manufacturés, est de prendre des valeurs au prix de base afin d'utiliser une référence commune entre les données. Le prix de base ne tient compte ni des marges commerciales et des marges de transport, ni des impôts. Notamment, la valeur des importations est souvent donnée au prix CAF (coût assurance fret) au contraire de la valeur des exportations qui est au prix FAB (franco à bord, hors coûts d'assurance et de fret), soit au prix de base. Il faut donc utiliser les prix FAB pour les importations afin de ne pas prendre en compte la valeur des transports qui ne représentent pas une consommation d'énergie liée à la production d'un secteur. Il faut aussi utiliser les prix de base pour les échanges internes à un pays. De plus, les TES fournissent également la valeur de la production de chaque secteur.

Dans la base Eurostat, les TES symétriques au prix de base en 2005 sont utilisés. Cependant, pour certains pays, les TES ne sont pas disponibles, ou non actualisés, pour l'année 2005. Quand ces TES sont disponibles pour les années précédentes (Royaume-Uni, Lettonie), ces tableaux sont tout de même utilisés en ajustant la valeur des devises. Dans les autres cas, où les TES sont absents, on suppose que les coefficients techniques de ces pays sont équivalents à ceux d'un pays proche. Ainsi les TES de la Roumanie, de la Grèce et de l'Italie sont utilisés à la place respectivement de ceux de la Bulgarie, de Chypre et de Malte. Pour ces pays, des corrections supplémentaires sont effectuées pour séparer le TES domestique du TES des importations en utilisant les données de commerce bilatéral.

Dans la base GTAP, les données sont fournies pour 2004 et non pas pour 2005. Il existe donc un décalage d'un an avec Eurostat, ce qui nécessite des ajustements. Dans cette base de données, les données au « Market's price » sont utilisées. Ces données représentent les prix de base dans GTAP (Wilting, 2008).

La construction des données sur la consommation d'énergie dans l'industrie manufacturière européenne est décrite dans la section précédente. Cette construction s'appuie sur une combinaison des données de Enerdata, « Global Energy & CO<sub>2</sub> Data » (2010) et de Eurostat, « Structural Business

<sup>127</sup> A l'exception de la Norvège qui partage ses données nationales avec Eurostat



Statistics (SBS) » (2012a). Pour les pays en dehors de l'UE, les données Enerdata sont également utilisées afin de conserver une homogénéité dans les sources de données. Comme le niveau d'aggrégation est plus important hors-UE, les données Enerdata suffisent.

Les données sur les flux bilatéraux de commerce proviennent de la base BACI qui couvre de très nombreux produits et la plupart des pays (Gaulier & Zignago, 2010). L'avantage de cette base est que les valeurs sont harmonisées au prix FAB, grâce à une estimation de l'écart lié aux prix CAF par les auteurs.

## ii. Construction de la matrice entrées-sorties européenne

---

Initialement, les tableaux entrées-sorties sont disponibles pour chaque pays. Deux TES sont proposés : un tableau pour la répartition des produits domestiques et un autre pour les produits importés. Mais tous ces tableaux sont isolés d'un pays à un autre. Il est donc nécessaire de relier les TES nationaux, à l'aide des flux d'échanges entre pays, pour construire un TES européen.

Les TES pour les pays européens de Eurostat contiennent 24 secteurs industriels<sup>128</sup> distincts, ce qui représente un niveau de précision insuffisant pour identifier les secteurs les plus sensibles à une taxe carbone ou à une augmentation des prix de l'énergie. Le tableau TES de la France, provenant des statistiques nationales (INSEE, 2005b), est alors utilisé pour désagréger les tableaux européens. En effet, le tableau TES de l'INSEE présente une désagrégation plus importante des secteurs industriels. 59 secteurs industriels y sont ainsi distingués. Les TES d'Eurostat sont alors décomposés selon une nomenclature similaire à celle du TES de l'INSEE, en se basant sur l'hypothèse que la répartition des flux monétaires des sous-secteurs d'un grand secteur industriel est similaire à celle pour la France. Plus précisément, pour les sous-secteurs (59 secteurs) d'un grand secteur (24 secteurs), nous supposons les ratios des consommations inter-industries égaux aux ratios en France. Dans ce but, il est nécessaire de tenir compte des différences de structures des productions nationales. En effet, il faut conserver l'information sur les différences entre les secteurs agrégés français et étrangers. La méthode de répartition corrigée de l'effet de structure, est une méthode « hybride » permettant de prendre en compte le maximum d'informations disponibles dans les tableaux entrées-sorties européens.

Par exemple, le secteur « Production de véhicules » dans Eurostat est décomposé en deux sous-secteurs : « Production d'équipements automobiles » et « Assemblage des véhicules ». Si le segment « Production d'équipements automobiles » consomme deux fois plus d'acier par unité de production que le segment « Assemblage des véhicules » en France, alors on suppose que ce ratio est le même dans tous les autres pays européens. Ainsi, si le TES allemand d'Eurostat donne l'information que le secteur agrégé « Production de véhicules » consomme 10 % de plus d'acier par unité de production en Allemagne qu'en France, pour une structure du secteur équivalente entre les deux pays, alors on retrouve deux informations dans le TES allemand décomposé :

- D'abord, le segment allemand « Production d'équipements automobiles » consomme deux fois plus d'acier que le segment allemand « Assemblage des véhicules ».
- De plus, chacun de ces deux segments consomment chacun 10 % d'acier en plus que les secteurs français.

---

<sup>128</sup> Si l'on exclut les secteurs de l'énergie : « coke and produits pétroliers raffinés » et « minerai d'uranium et de thorium ».



En outre, si le secteur allemand « Production d'équipements automobiles » est relativement plus important en Allemagne qu'en France par rapport au secteur agrégé de la « Production de véhicules », alors cette différence de structure est prise en compte dans les calculs. La formulation mathématique du calcul des coefficients techniques, pour les autres pays que la France, est la suivante :

Soit les variables:

$CT_{k,l}^P$  : Coefficient technique dans le pays  $P$  du secteur agrégé  $k$  vers le secteur agrégé  $l$

$CT_{k_i,l_j}^P$  : Coefficient technique dans le pays  $P$  du sous – secteur  $i$  du secteur agrégé  $k$  vers le sous – secteur  $j$  du secteur agrégé  $l$

$P_l^P$  : Production dans le pays  $P$  du secteur agrégé  $l$

$P_{l_j}^P$  : Production dans le pays  $P$  du sous – secteur  $j$  du secteur agrégé  $l$

$F_{k,l}^P$  : Flux monétaire dans le pays  $P$  provenant du secteur agrégé  $k$  vers le secteur agrégé  $l$

$F_{k_i,l_j}^P$  : Flux monétaire dans le pays  $P$  provenant du sous – secteur  $i$  du secteur agrégé  $k$  vers le sous – secteur  $j$  du secteur agrégé  $l$

On alors égalité des flux monétaires du secteur agrégé et de la somme des flux des sous-secteurs :

$$F_{k,l}^P = \sum_i \sum_j F_{k_i,l_j}^P \quad (35)$$

Soit,

$$CT_{k,l}^P * P_l^P = \sum_i \sum_j (CT_{k_i,l_j}^P * P_{l_j}^P) \quad (36)$$

L'hypothèse posée revient à la formulation suivante :

Soit  $k_n \subset k$  et  $l_m \subset l$

$$\forall P, i, j, k, l ; \frac{CT_{k_i,l_j}^P}{CT_{k_n,l_m}^P} = \frac{CT_{k_i,l_j}^{France}}{CT_{k_n,l_m}^{France}} \quad (37)$$

Alors,

$$CT_{k,l}^P * P_l^P = \sum_i \sum_j (CT_{k_n,l_m}^P * \frac{CT_{k_i,l_j}^{France}}{CT_{k_n,l_m}^{France}} * P_{l_j}^P) \quad (38)$$

$$CT_{k,l}^P * P_l^P = CT_{k_n,l_m}^P * \frac{1}{CT_{k_n,l_m}^{France}} * \sum_i \sum_j (CT_{k_i,l_j}^{France} * P_{l_j}^P) \quad (39)$$

Finalement, on calcule les coefficients techniques entre les secteurs  $k_n$  et  $l_m$  pour un pays  $p$  avec la formule suivante :

$$CT_{k_n,l_m}^P = \frac{CT_{k,l}^P * P_l^P}{\frac{1}{CT_{k_n,l_m}^{France}} * \sum_i \sum_j (CT_{k_i,l_j}^{France} * P_{l_j}^P)} \quad (40)$$

De cette manière, un TES détaillé sur 59 secteurs industriels est obtenu dans tous les pays européens. Ce TES reste similaire à celui fourni par Eurostat si les sous-secteurs sont ré-agrégés. En fait, nous utilisons, en partie, une hypothèse standard dans la littérature pour la construction des modèles TES,

qui consiste à utiliser le TES d'un pays tiers pour estimer celui d'un autre pays. Cependant, dans la méthodologie présentée, les données sont ajustées afin de conserver toute l'information disponible dans les TES de chaque pays. Le but est d'obtenir un TES désagrégé pour les autres pays européens tout en tenant compte des TES existants.

R. Andrew et al. (2009) ont testé l'erreur introduite par cette hypothèse en étudiant un modèle MRIO sur six régions plus une région « Reste du Monde » avec un TES moyenné. Les résultats de ce modèle sont ensuite comparés à ceux d'un modèle MRIO complet avec des données GTAP. Les auteurs estiment alors l'erreur comme « *generally reasonable* », très souvent inférieure à 5 %. Ainsi, nous supposons que les erreurs introduites par notre méthode sont inférieures à cette estimation, car la méthode est plus détaillée que l'utilisation d'une moyenne. De plus, les secteurs les plus critiques dans l'analyse entrées-sorties de l'énergie et des émissions de CO<sub>2</sub> sont déjà isolés dans Eurostat<sup>129</sup>.

L'étape suivante consiste à décomposer les TES européens en fonction de l'origine des importations. Dans Eurostat, deux TES distincts sont disponibles pour chaque pays : un pour les produits domestiques et l'autre pour les importations. Nous connaissons alors à quel endroit les produits importés d'un secteur sont consommés dans l'économie nationale. Ce TES des importations est ensuite divisé en de multiples TES, chacun décrivant la répartition des importations provenant d'un pays en particulier. Cependant, Eurostat ne fournit pas la répartition dans l'économie nationale des produits provenant d'un pays en particulier. Par exemple, on ne sait pas si l'acier importé et consommé par le secteur automobile français provient d'Allemagne ou de Belgique. On utilise alors l'hypothèse que la répartition géographique des importations d'un produit est similaire, dans chaque secteur, à la répartition de l'origine de ces produits pour tout le pays. Par rapport à l'exemple précédent, on suppose alors que si 30 % de l'acier importé en France provient de Belgique, alors 30 % de l'acier importé et consommé dans le secteur automobile provient également de Belgique. Par combinaison, on obtient donc finalement un TES pour toute l'industrie européenne, tenant compte de la structure de l'industrie dans chaque pays et du commerce international.

### iii. Construction de la matrice entrées-sorties mondiale

---

Le travail sur l'énergie grise peut être étendu au monde afin d'éviter l'hypothèse d'une intensité énergétique des importations, provenant de l'extérieur de l'UE, équivalente à celle des produits domestiques européens. Cette extension permet également de calculer l'effet potentiel d'une taxe carbone à la frontière, en tenant compte du contenu en CO<sub>2</sub> et en énergie des importations hors-UE. Ainsi 22 régions (Amérique Centrale, Moyen-Orient, etc.) ou grands pays (Etats-Unis, Chine, Japon, etc.) sont ajoutés. Cependant, les données hors-UE sont moins précises (17 secteurs industriels distincts) et un travail équivalent à celui réalisé pour l'Europe serait trop important et peu robuste. C'est pourquoi les données agrégées au niveau sectoriel, de GTAP et d'Enerdata, sont utilisées sans désagrégation supplémentaire. De nombreuses études sur le CO<sub>2</sub> contenu dans les produits

---

<sup>129</sup> Les secteurs les plus critiques sont ceux dans lesquels les sous-secteurs sont très hétérogènes quant à leur consommation d'énergie ou à leurs émissions de CO<sub>2</sub>. Par exemple, le secteur de l'édition n'est pas du tout comparable à celui de la production de papier. L'un possède une valeur ajoutée importante avec une faible consommation d'énergie, à l'inverse de l'autre. Ces deux secteurs sont pourtant souvent réunis dans les bases de données comme dans GTAP. C'est l'agrégation de ce type de secteurs qui introduit le plus d'erreur dans l'estimation de l'énergie contenue dans les produits manufacturés. Les secteurs critiques sont principalement le papier et l'édition ainsi que la chimie (Weber, 2008).

manufacturés, utilisent d'ailleurs principalement la base GTAP (Davis et Caldeira, 2010; Peters et Hertwich 2008).

Par contre, les TES proposés dans GTAP pour les régions regroupant plusieurs pays comportent des erreurs. Le logiciel d'agrégation des TES fourni par GTAP, considère les importations à l'intérieur d'une même région agrégée comme des importations provenant de l'extérieur de cette région dans son calcul. Il donne donc des flux monétaires d'importations dans la région qui sont en fait des flux domestiques. Par exemple, pour l'Amérique Centrale, les flux commerciaux entre le Mexique et le Guatemala sont indiqués comme des importations extérieures à la région dans le TES fourni par GTAP. Ce problème est d'ailleurs souvent reconnu dans la littérature utilisant GTAP (Pourouchottamin & De La Fuente, 2010; Wilting 2008). Il est donc nécessaire de retirer ces flux des TES d'importations et de les ajouter aux TES domestiques. Toutefois, les données sur les flux bilatéraux, provenant de la base BACI du CEPII, restent très précises même pour les pays hors-UE.

La méthode de décomposition des TES d'importations selon l'origine géographique de celles-ci est similaire à celle utilisée pour l'UE. Cependant, la construction d'un modèle MRIO « complet » nécessite que l'on décompose les importations provenant de l'UE, non pas selon la nomenclature GTAP mais selon celle utilisée pour l'UE, la nomenclature NES114 de l'INSEE. A cette étape, les données sur les flux bilatéraux de BACI sont utilisées pour connaître avec précision les produits exportés par l'UE vers les pays non-UE. L'avantage de la base de données BACI est de fournir des données d'échanges produit par produit. Les flux commerciaux peuvent donc être décomposés selon le niveau de nomenclature nécessaire. Finalement, les TES européens et hors-UE peuvent être combinés en un TES regroupant tous les secteurs industriels dans le monde.

### 3.1.3.3) METHODOLOGIE DE CALCUL

#### i. Estimation du contenu en énergie des produits manufacturés

La méthodologie utilisée pour combiner le TES mondial et les données sur l'énergie repose sur un calcul matriciel décrit par GP. Peters et EG. Hertwich (2009) ainsi que par I. Mongelli et al. (2009). Cette méthode est d'abord décrite par la formule suivante :

$$X = AX + Y \quad (41)$$

$X$  est un vecteur qui représente la production totale de chaque secteur dans le modèle. La matrice  $A$  représente la matrice des coefficients techniques de l'industrie, c'est-à-dire les besoins en biens intermédiaires. Chaque élément de cette matrice est défini par  $a(i,j) = b(i,j) / x(j)$  : où  $b_{i,j}$  représente la valeur totale des ventes d'un secteur  $i$  vers un secteur  $j$ , et  $x_j$  est la production du secteur  $j$ . Chaque colonne de la matrice  $A$  représente les biens intermédiaires nécessaires à la production d'une unité de biens dans l'industrie  $j$ . Avec un modèle MRIO « complet », la matrice  $A$  est la transformation directe du tableau entrées-sorties dans lequel chaque secteur dans chaque pays possède une ligne et une colonne distinctes. Dans notre modèle,  $A$  est composé de 27\*59 colonnes pour les pays européens avec 17\*22 colonnes supplémentaires pour les régions hors-UE. Le nombre de lignes est équivalent à celui des colonnes. Le vecteur  $Y$  représente la demande finale pour les biens industriels, dans lequel chaque élément  $y(i)$  indique une demande arbitraire pour l'industrie  $i$ . Elle est arbitraire dans le sens où

elle peut représenter la consommation finale, les exportations, les importations ou une demande unitaire pour un secteur en particulier.

Avec l'hypothèse de linéarité des modèles entrées-sorties, la production nécessaire pour une économie mondiale où la demande arbitraire est  $Y$ , est obtenue de la manière suivante (Peters & Hertwich, 2009):

$$X = (I - A)^{-1} * Y \quad (42)$$

On introduit ensuite les données sur la consommation d'énergie de chaque industrie dans tous les pays ou régions inclus dans le modèle. La matrice  $E$  est ajoutée. Dans celle-ci, chaque élément représente l'intensité énergétique d'un secteur dans un pays spécifique, tel que  $e(i,j) = c(i,j)/x(i)$  avec  $c(i,j)$  la consommation totale du type d'énergie  $j$  par le secteur  $i$ . L'énergie contenue,  $E_e$ , dans une unité de production est donc :

$$E_e = E^T * (I - A)^{-1} \quad (43)$$

## ii. Estimation du contenu en CO<sub>2</sub> des produits manufacturés

L'estimation du contenu en CO<sub>2</sub> dérive directement de celle du contenu en énergie des produits et tient compte de la localisation de la consommation pour l'électricité. Dans ce but, les facteurs d'émissions des combustibles fossiles ( $e_f$ ) et de l'électricité ( $e_e$ ) sont utilisés (Annexe E). Ces facteurs d'émissions proviennent des données de l'Agence Internationale de l'Energie (IEA, 2009a; 2009b). Pour l'électricité, le facteur d'émission dépend du mix de production de l'électricité dans chaque pays.

Les émissions de CO<sub>2</sub> issues de la consommation d'énergie ne représentent pas toutes les émissions provenant de l'industrie. En effet, une partie significative du CO<sub>2</sub> provient des émissions liées aux procédés de production. Ces émissions sont surtout présentes dans la production de ciment mais aussi dans les industries du verre, de la sidérurgie, de l'aluminium et de la chimie. Des données de l'Agence Environnementale Européenne (2011) et des travaux de A. Schmitz et al. (2011) sont utilisées pour ajouter ces émissions liées aux procédés dans le modèle. Par manque de données, des moyennes sur les émissions par unité de production, calculée pour l'Union européenne, sont réutilisées pour les régions hors-UE. Dans la sidérurgie, aucun changement n'est effectué puisque le contenu en CO<sub>2</sub> du charbon consommé est déjà pris en compte<sup>130</sup>. A l'inverse, une grande quantité de l'énergie consommée par l'industrie de la chimie de base, est utilisée comme matière première sans émettre de CO<sub>2</sub>. En conséquence, cette part des émissions est soustraite du calcul. On obtient donc le contenu en CO<sub>2</sub> des produits manufacturés.

<sup>130</sup> Dans les hauts-fourneaux de la sidérurgie, la combustion du coke de charbon est liée à la réaction chimique du procédé et également à sa combustion pour produire de la chaleur. Il est difficile de distinguer ces deux sources d'émissions, mais si l'on tient compte du contenu en CO<sub>2</sub> de tout le charbon consommé, alors l'ensemble des émissions de combustion et de procédé sont prises en compte.

### 3.1.3.4) APPORT DE LA DESAGREGATION SECTORIELLE

Le niveau de désagrégation des secteurs industriels dans le modèle permet non seulement d'identifier plus précisément les secteurs étudiés, mais également de diminuer l'erreur d'estimation de l'énergie ou du CO<sub>2</sub> contenu dans les produits. Quand de nombreux secteurs sont agrégés en un seul, des moyennes sur les données sont utilisées ce qui réduit la précision des calculs (Weber, 2008).

Par exemple, les secteurs de la chimie sont généralement tous réunis dans les modèles TES. Ce vaste secteur contient autant la chimie de base, avec une consommation très élevée d'énergie pour une valeur ajoutée modérée, que l'industrie pharmaceutique, avec une faible consommation d'énergie pour une forte valeur ajoutée. L'utilisation d'une moyenne implique que toutes les exportations de produits chimiques d'un pays soient dotées un contenu énergétique moyen, commun à tout le secteur de la chimie. Pourtant, ces exportations peuvent éventuellement être composées uniquement de produits pharmaceutiques. Le contenu en énergie des exportations est alors fortement surestimé. L'utilisation de moyennes pour des secteurs très hétérogènes par rapport à leur intensité énergétique, induit donc des erreurs qui se cumulent dans le calcul matriciel. Le manque de données est souvent le principal frein à l'utilisation d'une nomenclature plus précise dans les modèles TES.

Comme des données précises pour les pays Européens ont été réunies dans cette étude, il est possible d'évaluer l'impact du niveau d'agrégation sectorielle sur l'estimation de l'énergie contenue dans les échanges entre pays européens. Pour chaque pays de l'UE, l'énergie contenue dans les importations de produits manufacturés provenant des autres pays européens est calculée avec trois niveaux d'agrégation sectorielle différents : 59 secteurs industriels comme dans l'étude, 24 secteurs tels qu'ils sont présents dans Eurostat et 17 secteurs comme dans la nomenclature de GTAP. A chaque fois, les mêmes données sont utilisées mais ré-agrégées selon la nomenclature étudiée. De plus, il est important de noter que c'est la somme de l'énergie contenue dans tous les produits manufacturés qui est comparée entre les différents niveaux de nomenclature. Il est possible que des écarts positifs et négatifs se compensent entre chaque secteur. Il faut donc garder à l'esprit que les écarts entre les niveaux d'agrégation pour l'énergie contenue dans un secteur particulier, peuvent être beaucoup plus importants. Notamment, les secteurs du papier et de l'édition, de la chimie et des métaux de base sont les principaux concernés par ce problème.

Les résultats, figure 142, montrent que l'erreur cumulée sur l'ensemble des flux est modérée mais demeure significative avec un écart de 10 % en moyenne pour 17 secteurs inclus et de 6 % pour 24 secteurs. Pour certains pays, cette erreur peut atteindre 16 %. Ce niveau d'erreur peut être suffisant pour fausser une comparaison du solde net des échanges d'énergie grise entre les pays, notamment pour mesurer la responsabilité des émissions de CO<sub>2</sub>. L'erreur décroît de manière asymptotique avec le nombre de secteurs inclus. L'amélioration marginale de l'estimation liée à la désagrégation d'un secteur diminue donc selon le nombre de secteurs déjà présents.

Il faut toutefois noter que même avec 59 secteurs industriels, il existe un biais d'estimation. L'erreur estimée ici, s'ajoute donc à l'erreur d'agrégation existante pour 59 secteurs. Néanmoins, ces résultats rejoignent ceux de B. Su et al. (2010). Leurs travaux démontrent d'ailleurs que l'augmentation de la précision reste faible une fois que plus de 40 secteurs ont déjà été intégrés.

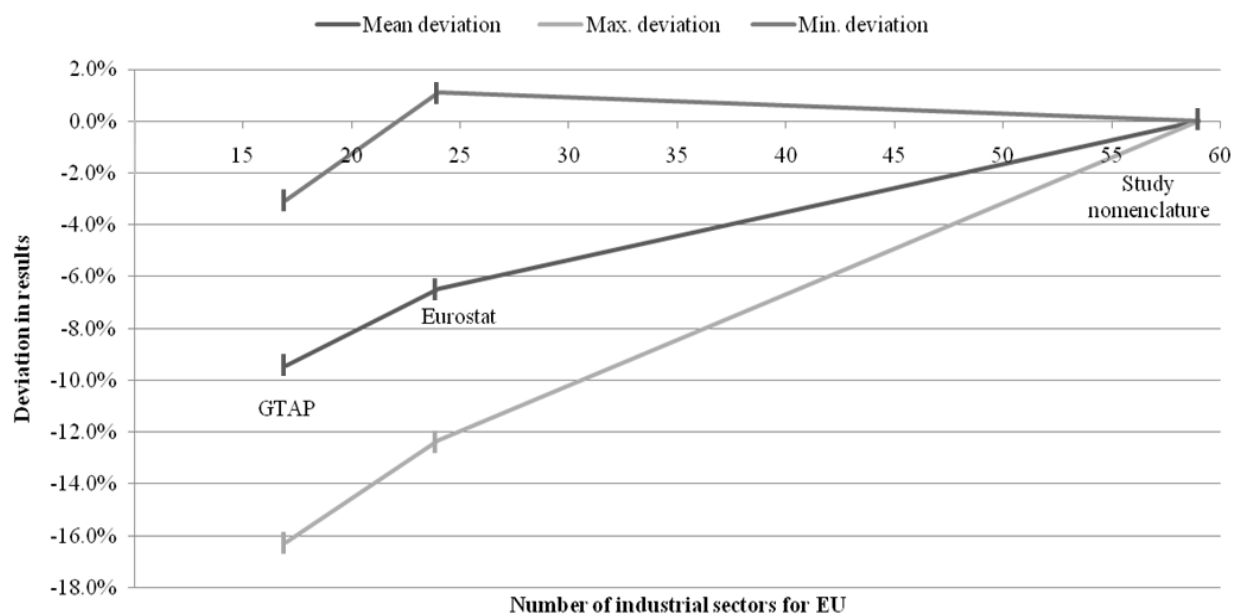


Figure 142 : Déviation moyenne de l'énergie contenue dans les importations d'un pays de l'UE et provenant d'autres pays de l'UE selon le nombre de secteurs industriels inclus dans le modèle TES.

### 3.1.4) CONCLUSION SUR L'APPORT DE CE NOUVEAU MODELE

Avec la globalisation de la chaîne de production manufacturière, la situation de l'énergie dans l'industrie évolue rapidement. S'il est encore possible d'analyser le rôle des prix domestiques de l'énergie sur la compétitivité de certaines industries très en amont de cette chaîne, l'étude des échanges commerciaux mondiaux démontre la nécessité d'aborder une échelle globale pour analyser l'énergie dans l'industrie. Les échanges de biens intermédiaires ont presque triplé dans le monde entre 1994 et 2006. La prise en compte des interdépendances entre secteurs industriels et entre pays est donc nécessaire si l'on veut élargir la question du rôle de l'énergie sur la compétitivité à toute l'industrie manufacturière.

Dans ce but, une méthode très différente de l'analyse économétrique est développée ; l'analyse des tableaux entrées-sorties. Ce type d'analyse permet d'estimer l'énergie ou le CO<sub>2</sub> contenu dans les produits manufacturés. Il est alors possible de mettre en évidence les flux d'énergie grise, « cachés », qui existent au niveau international. Un modèle multi-régional, sur 28 pays européens et 22 régions hors-UE, prenant en compte des échanges internationaux tout au long de la chaîne de production est construit. Ce travail, contenant 59 secteurs industriels en UE et 17 secteurs hors de l'UE, repose sur la combinaison de données économiques sur les flux monétaires, entre secteurs et entre pays, avec des données sur la consommation d'énergie des industries. Après un travail d'homogénéisation des données, un calcul matriciel permet la mise en place d'un outil d'analyse robuste et ouvert.

Ces travaux sur les TES se basent sur une méthodologie de plus en plus utilisée pour l'analyse de la responsabilité des émissions de CO<sub>2</sub> au niveau international. Notre étude se différencie des autres en se concentrant sur la question de la compétitivité dans l'industrie manufacturière. De même, rares sont les études abordant les questions d'énergie en plus des émissions de CO<sub>2</sub>. Au contraire, notre modèle démarre en aval de l'industrie énergétique, ce qui permet de différencier les flux pour quatre formes d'énergie, notamment pour l'électricité.

Deux études, de I. Mongelli et al. (2009) et de RD. Morgenstern et al. (2004), ont utilisé des modèles TES pour aborder la question de la répartition des coûts d'une taxe environnementale. Néanmoins, ces auteurs n'ont étudié qu'un seul pays et n'ont donc pas intégré la question de la fragmentation internationale de la production. Notre principale contribution avec ce nouveau modèle entrées-sorties porte principalement sur les deux points suivants :

- Echelle internationale avec des échanges multi-directionnels pour 49 zones géographiques possédant des structures de production et des intensités énergétiques différentes. Cette échelle globale permet d'étudier les flux d'énergie et de CO<sub>2</sub> dans le monde.
- Niveau de désagrégation sectorielle important dans l'industrie manufacturière avec 59 secteurs différenciés dans chaque pays européens et 17 secteurs dans les régions hors-UE. Ce niveau de désagrégation permet d'améliorer la précision de l'estimation et de pouvoir identifier la situation compétitive pour des industries spécifiques. Cependant, les autres secteurs de l'économie (énergie, agriculture, services, transports) ne sont pas inclus dans le modèle entrées-sorties.



Les résultats obtenus par le modèle décrivent l'énergie<sup>131</sup> et le CO<sub>2</sub> contenus dans chaque unité monétaire de biens manufacturés (tep/€<sub>2005</sub>), pour chaque secteur industriel et dans chacune des zones géographiques incluses. Ce sont donc des résultats bruts dont l'application est libre. Nous définissons alors deux orientations principales à l'analyse des résultats :

- Une synthèse de la géographie des flux d'énergie grise afin de questionner la vision traditionnelle de la dépendance énergétique.
- Deux applications de ces résultats possibles grâce à leur insertion dans des méthodes plus élaborées : la prévision de la consommation d'énergie suite à un changement de la structure industrielle d'un pays et l'estimation des effets distributifs d'une taxe carbone européenne.

---

<sup>131</sup> Les résultats sont distincts pour quatre formes d'énergie : l'électricité, le gaz naturel, les produits pétroliers et le charbon.

### **3.2) BILAN GLOBAL PAR SECTEUR ET PAR PAYS DE L'ENERGIE GRISE**

**L**e premier type d'analyse possible avec le modèle entrées-sorties consiste à traiter et à interpréter les résultats bruts du modèle. En effet, avant d'insérer ceux-ci dans des modélisations plus élaborées, la connaissance des flux d'énergie contenue dans les produits manufacturés permet de mettre en évidence un nouvel aspect du bilan énergétique dans le monde. Trois points principaux sont développés dans cette partie :

- Une nouvelle cartographie des flux d'énergie et de CO<sub>2</sub> entre les grandes régions du monde et plus précisément pour la France.
- Une étude de la dépendance de l'industrie européenne aux prix des énergies dans le monde.
- Une réflexion sur la comptabilité des émissions de CO<sub>2</sub> dans le monde, entre pays producteurs et consommateurs.

De nombreuses informations sont disponibles dans les résultats pour détailler le contenu en énergie et en CO<sub>2</sub> de la production des secteurs industriels. Ce contenu énergétique peut être distingué selon trois niveaux :

- Le type d'énergie : électricité, gaz, charbon, produits pétroliers. Egalement le contenu en CO<sub>2</sub>.
- Le pays de consommation de cette énergie
- Le secteur de consommation de cette énergie

Il est donc possible d'effectuer des études comparatives pour un secteur entre plusieurs pays, ou inversement de comparer plusieurs secteurs dans un pays. En outre, les résultats sont basés sur la seule année 2005. C'est donc une étude statique, les changements dynamiques ne sont pas intégrés.

#### **3.2.1) UNE NOUVELLE CARTE DES FLUX ENERGETIQUES DANS LE MONDE ET EN FRANCE**

Dans un premier temps, si les flux de produits manufacturés et les consommations directes d'énergie de la part des industries sont bien connus, le lien entre ces deux facteurs est rarement décrit. L'énergie et le CO<sub>2</sub> contenus dans les produits manufacturés échangés dans le monde sont introduits ici sous la forme de cartes de flux entre les principales régions. Il est important de faire attention sur la définition de ces flux, deux cas sont possibles.

Dans le premier cas, que l'on nomme méthode « *descriptive* », les flux décrivent l'énergie ou le CO<sub>2</sub> contenus dans les importations et les exportations directes de produits manufacturés. Ils ne traduisent pas l'origine de consommation de l'énergie. Ainsi, l'énergie contenue dans des exportations provenant d'une région *i* vers une région *j* ne contient pas uniquement de l'énergie consommée par l'industrie de la région *i*. En effet, une partie de cette énergie exportée peut également provenir de flux d'importations antérieurs et donc d'une autre région. Il est même possible qu'une partie de cette énergie provienne de la région *j*. Inversement, toute l'énergie contenue dans ces exportations n'est pas forcément consommée sous la forme de produits finis dans la région *j*. Une partie des biens intermédiaires est transformée et réexportée, de même que l'énergie contenue à l'intérieur de ces biens. De la même manière, il peut donc arriver qu'une partie de cette énergie contenue dans les exportations de la région *i* vers la région *j*, soit réexportée vers la région *i*. Les flux décrits par cette

définition montrent donc uniquement les flux réels d'énergie dans les échanges commerciaux, mais non pas la localisation de la consommation de cette énergie.

Dans le second cas, avec une méthode « *synthétique* », les flux représentés décrivent l'origine géographique de la consommation d'énergie, des secteurs énergétiques vers l'industrie manufacturière, ainsi que la localisation de la consommation finale des biens manufacturés contenant cette énergie grise. Par exemple, la chimie de base russe consomme  $x$  TWh pour produire ses exportations vers l'Allemagne. On suppose alors que l'Allemagne transforme **tous** ces produits chimiques de base en produits pharmaceutiques, en consommant  $y$  TWh d'énergie, puis exporte ces produits pharmaceutiques vers la France. En France, **tous** ces produits sont consommés par les utilisateurs finaux. Avec la première méthode « *descriptive* », on considère que le flux d'énergie grise de l'Allemagne vers la France est de  $(x + y)$  TWh. Rien ne provient de la Russie vers la France. Avec la seconde méthode « *synthétique* », on considère pour la France que  $x$  TWh proviennent de Russie, car ils sont issus du secteur énergétique russe, et que  $y$  TWh proviennent d'Allemagne car ils proviennent du secteur énergétique allemand. Si uniquement la moitié de ces produits pharmaceutiques allemands sont consommés par les utilisateurs finaux en France, alors on considère seulement  $x/2$  TWh provenant de Russie et  $y/2$  TWh provenant d'Allemagne dans les flux « *synthétiques* ». Le reste des produits pharmaceutiques est réexporté de France vers un autre pays. Avec la première méthode « *descriptive* », dans ce cas, on a toujours un flux d'énergie grise de l'Allemagne vers la France de  $(x+y)$  TWh.

Cette seconde méthode ne reflète pas exactement les flux d'énergie dans tous les échanges commerciaux mais décrit l'origine et l'arrivée du parcours de l'énergie (ou du CO<sub>2</sub>), de sa consommation en aval du secteur énergétique à sa consommation sous forme de produits manufacturés par les consommateurs finaux. L'avantage de cette méthode est de mieux décrire les relations de dépendance aux énergies non-domestiques, notamment aux prix de ces énergies dans les pays dans lesquelles elles ont été consommées. Par exemple, supposons que les choix de politique énergétique en Allemagne augmentent les prix domestiques de l'électricité. Comme une partie de cette électricité est exportée au travers des biens manufacturés, l'impact de cette hausse des prix affecte également les autres pays.

### 3.2.1.1) FLUX D'ÉNERGIE ET DE CO<sub>2</sub> DANS LES PRODUITS MANUFACTURÉS DANS LE MONDE

#### i. Flux d'énergie grise dans le monde

Cette section décrit les flux d'énergie et de CO<sub>2</sub> contenus dans les échanges internationaux de produits manufacturés selon la méthode *descriptive*. La figure 144 présente les flux d'énergie entre sept grandes régions mondiales (flèches), ainsi que la consommation d'énergie de l'industrie manufacturière dans chacune de ces zones géographiques (carrés). Pour rappel, seuls les flux d'énergie contenue dans les produits manufacturés, hors énergie primaire, sont pris en compte.

L'Asie apparaît d'abord comme la zone principale de consommation d'énergie dans l'industrie manufacturière avec une consommation de 11 900 TWh en 2005. Ensuite, l'Europe et l'Amérique du Nord<sup>132</sup> sont les deux autres principales zones de consommation d'énergie dans l'industrie avec une consommation à peu près équivalente à 4 800 TWh par an. La Russie et les anciens pays soviétiques

<sup>132</sup> Le Mexique est inclus dans la zone Amérique Latine

(CEI), ainsi que l'Amérique Latine, ont une consommation d'environ 2 000 TWh par an. Enfin, les consommations d'énergie dans l'industrie du Moyen-Orient et de l'Afrique restent mineures. Cette hiérarchie est néanmoins appelée à évoluer depuis 2005, et dans les années à venir, avec la montée en puissance de l'industrie des pays émergents du BRIC (Brésil, Russie, Inde, Chine) et l'augmentation continue des échanges internationaux.

Ces données de consommation représentent la vision « traditionnelle » de la consommation d'énergie dans l'industrie, c'est-à-dire les flux directs entre le secteur énergétique et l'industrie manufacturière. Désormais, si ces consommations directes demeurent les principaux flux d'énergie, l'énergie contenue dans les exportations et dans les importations est très significative, voire presque équivalente à ces consommations directes. Par exemple, l'énergie contenue dans les importations de produits manufacturés en Europe s'élève à 3 270 TWh, soit environ 75 % de l'énergie consommée localement par l'industrie européenne. Ce taux est encore plus élevé si on se place à l'échelle d'un pays. L'apport d'énergie en Europe par l'intermédiaire des importations de produits manufacturés est donc de même ampleur que l'apport provenant directement du secteur énergétique. De même, l'énergie exportée sous forme de produits manufacturés, par la Russie et les anciens pays soviétiques, représente 60 % de l'énergie consommée par l'industrie dans cette zone. La prise en compte de ces flux d'énergie « cachés » est donc essentielle dans la compréhension de la situation de l'énergie dans l'industrie manufacturière mondiale.

Deux zones géographiques se distinguent par un solde net positif des exportations d'énergie grise : l'Asie et la Russie (avec les anciens pays soviétiques). L'énergie contenue dans les exportations provenant d'Asie représente 37 % des échanges d'énergie grise dans le monde. Cette proportion est de 14 % pour la Russie et les anciens pays soviétiques, alors que ces pays ne représentent que 9 % de la consommation mondiale d'énergie dans l'industrie. L'importance de ces flux d'exportations d'énergie grise provient à la fois des fortes quantités de biens manufacturés exportées, de la structure de ces exportations, composées principalement de produits à faible valeur ajoutée, et de la forte intensité énergétique de l'industrie dans ces pays.

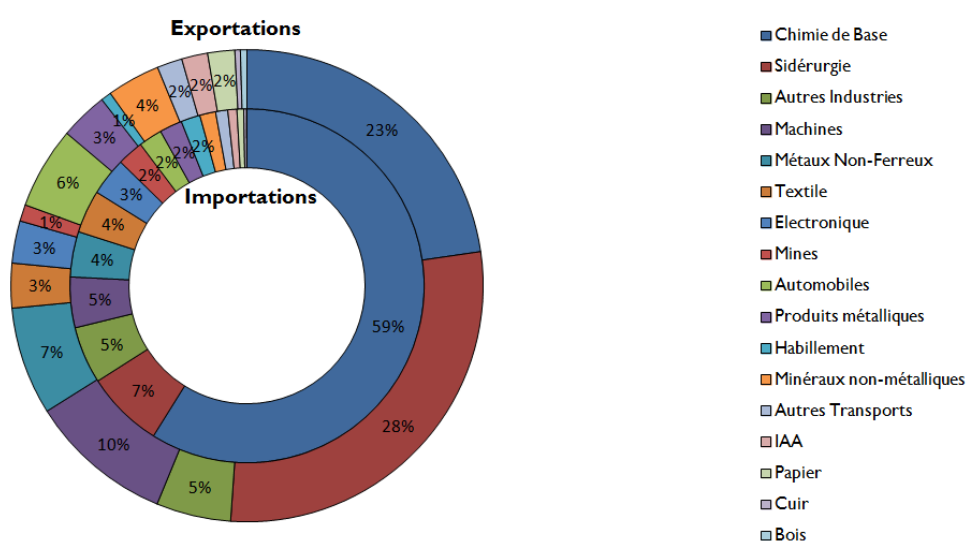
Au contraire, l'Europe et l'Amérique du Nord sont des importateurs nets d'énergie grise. Ces deux zones importent 60 % de l'énergie grise échangée dans le monde en 2005, mais n'en exportent que 28 %. Le solde net en énergie grise est de -1 500 TWh pour l'Europe et de -1 660 TWh pour l'Amérique du Nord, des montants équivalents, en valeur absolue, à leurs exportations d'énergie grise. A l'inverse de l'Asie et de la Russie, ces valeurs négatives s'expliquent par un solde également négatif des exportations manufacturières et par une meilleure efficacité énergétique des procédés de production. Il existe donc un déséquilibre majeur dans les flux d'énergie contenue dans les produits manufacturés dans le monde, de l'Asie et de la Russie vers l'Europe et l'Amérique du Nord. Il est donc important d'ajouter ces flux d'énergie grise dans l'estimation des bilans énergétiques nationaux. Par exemple, l'énergie contenue dans les importations de l'Amérique du Nord est équivalente à 25 % des importations totales d'énergie de cette zone pour toute l'économie.

Le Moyen-Orient<sup>133</sup> représente un cas particulier puisque cette zone importe et exporte des volumes importants d'énergie grise, environ 1 000 TWh, par rapport à la consommation totale de son industrie s'élevant à 1 630 TWh. Le solde net du Moyen-Orient est d'ailleurs à l'équilibre. Comme présenté dans la figure 143, 59 % des exportations d'énergie grise de cette zone proviennent des exportations de produits de la chimie de base. Au contraire, les flux d'importations sont mieux répartis entre les

<sup>133</sup> Dans cette analyse, le Moyen-Orient inclus également la Turquie

secteurs, avec toutefois une part importante de la chimie de base, de la sidérurgie et des produits métalliques. Les flux importants d'énergie grise du Moyen-Orient s'expliquent donc principalement par la forte spécialisation industrielle de cette région qui exporte surtout de la chimie de base, produite à partir des réserves de pétrole locales, et qui importe beaucoup de métaux.

Enfin, les échanges d'énergie grise de l'Amérique Latine et de l'Afrique sont faibles avec respectivement 12 % et 8 % des échanges mondiaux d'énergie grise. Seules les exportations de l'Amérique Latine vers l'Amérique du Nord, 399 TWh, représentent un flux d'énergie important.



**Figure 143 : Répartition de l'énergie contenue dans les échanges commerciaux du Moyen-Orient et de la Turquie en 2005**

## ii. Flux de CO<sub>2</sub> dans le monde

La même analyse est réalisée pour les flux de CO<sub>2</sub> dans l'industrie (Figure 145). Pour rappel, les émissions de CO<sub>2</sub> du secteur énergétique (raffinage, production d'électricité), liées à la consommation d'énergie dans l'industrie, sont également prises en compte. Comme la plupart des émissions dans l'industrie sont liées à la combustion des combustibles fossiles ou à la production d'électricité, la répartition des émissions et des flux de CO<sub>2</sub> est à peu près similaire à celle pour l'énergie.

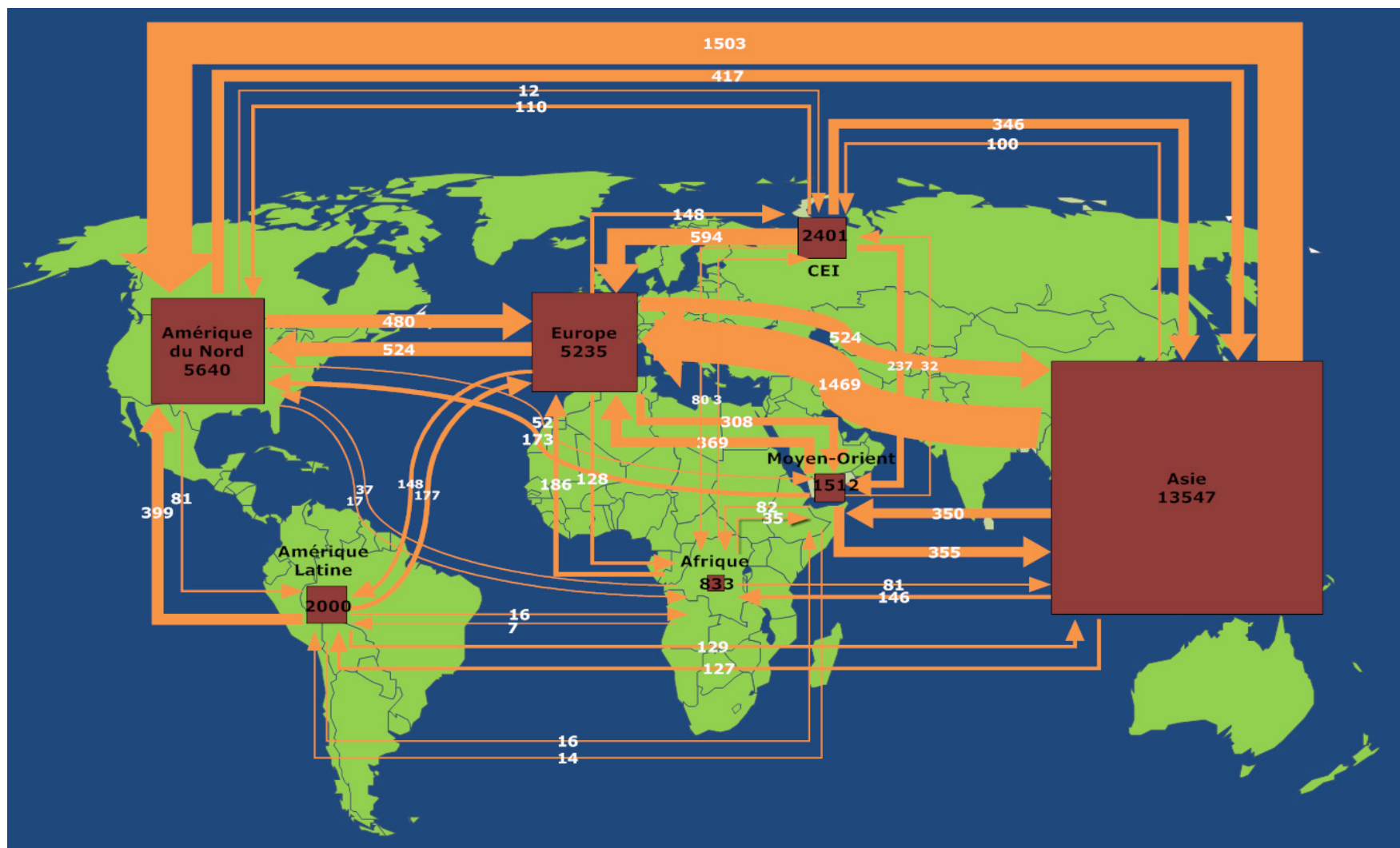


Figure 144 : Flux d'énergie contenue dans les produits manufacturés dans le monde en 2005 (en TWh). Méthode « descriptive » (p. 318)

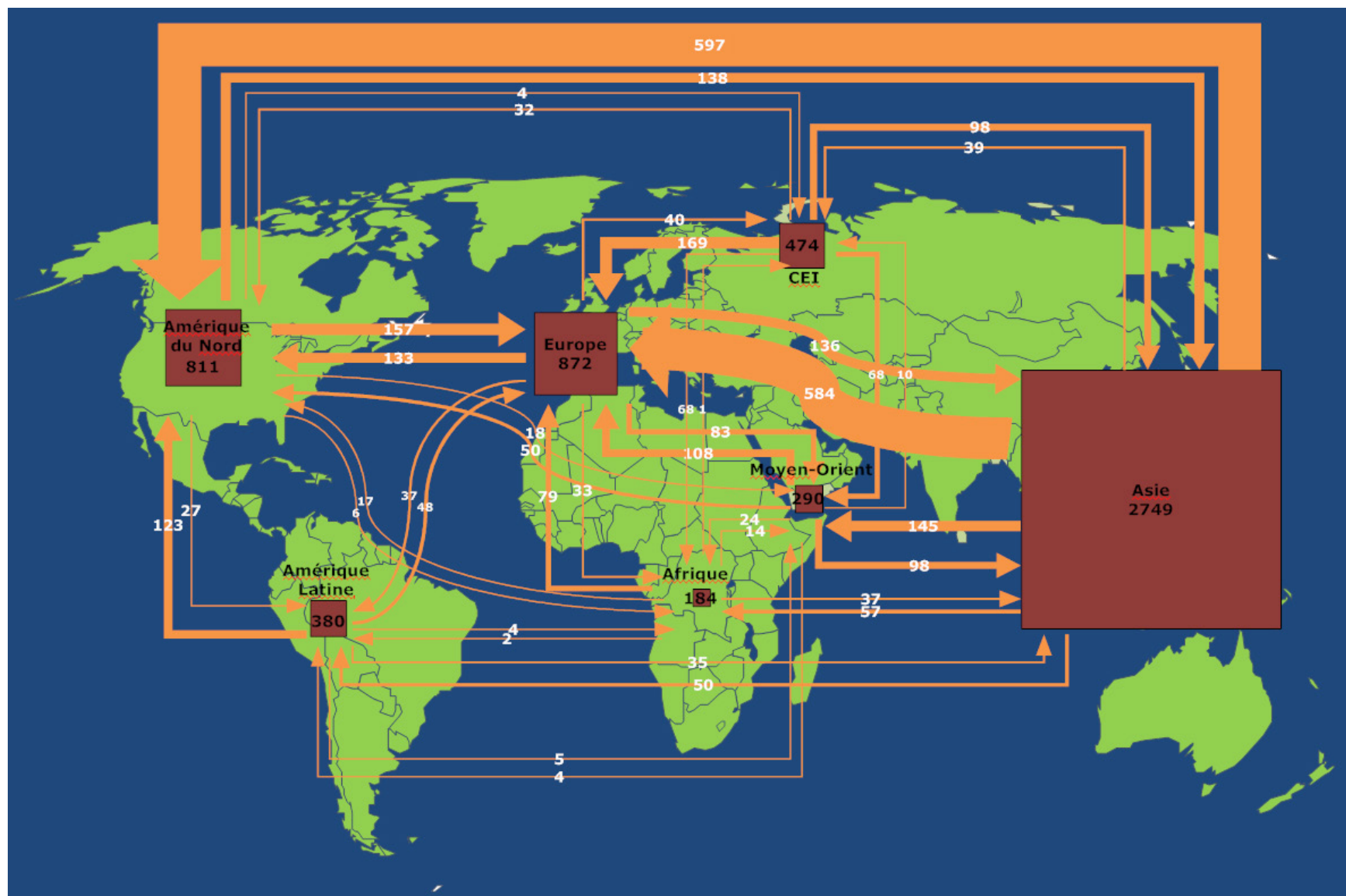
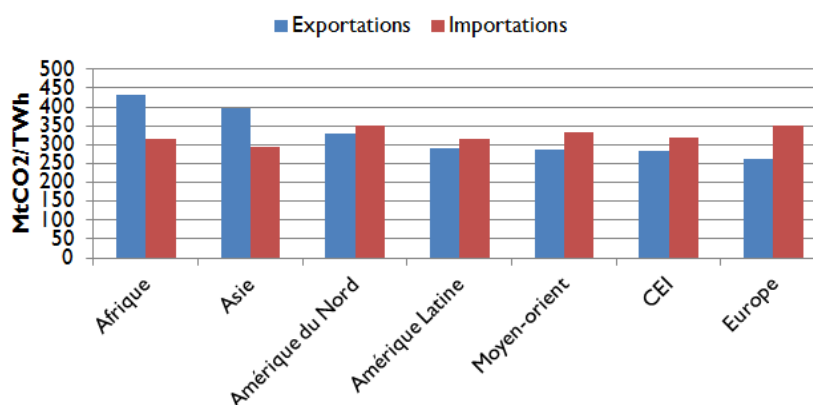


Figure 145 : Flux de CO<sub>2</sub> contenu dans les produits manufacturés dans le monde en 2005 (en MtCO<sub>2</sub>). Méthode « descriptive » (p. 318)



Toutefois, il existe quelques différences dans l'ampleur des flux de CO<sub>2</sub>, puisque les émissions liées à une même quantité d'énergie ne sont pas équivalentes dans le monde. Cela s'explique par des variations dans le mix de production de l'électricité et également dans les émissions des procédés industriels. Comme le montre la figure 146, les exportations de l'Afrique et de l'Asie possèdent un contenu en CO<sub>2</sub> plus élevé, pour une même quantité d'énergie grise, que dans les autres régions du monde (respectivement 430 et 400 MtCO<sub>2</sub>/TWh). A l'inverse, l'Europe est la région avec le ratio CO<sub>2</sub>/énergie le plus faible, soit 263 MtCO<sub>2</sub>/TWh. Ainsi, pour une quantité similaire d'énergie grise exportée, le contenu équivalent en CO<sub>2</sub> est supérieur de 50 % en Asie par rapport à l'Europe. Ces écarts renforcent le déséquilibre mondial des flux de CO<sub>2</sub> contenu dans les produits manufacturés. Par exemple, le contenu en CO<sub>2</sub> des exportations de l'Asie représente ainsi 44 % des échanges mondiaux.



**Figure 146 : Contenu en CO<sub>2</sub> par rapport au contenu énergétique des produits manufacturés du commerce international**

A l'inverse, l'Europe apparaît alors nettement comme importatrice de CO<sub>2</sub>. En effet, la quantité de CO<sub>2</sub> contenue dans les importations de biens manufacturés est équivalente à 70 % des émissions de l'industrie européenne. Alors que l'Europe exporte plus d'énergie grise vers l'Amérique du Nord qu'elle n'en importe, c'est la situation inverse pour le contenu en CO<sub>2</sub>. Néanmoins, le solde net des échanges de CO<sub>2</sub> reste fortement négatif pour l'Amérique du Nord (-760 MtCO<sub>2</sub>). Il y a donc un transfert massif des émissions de CO<sub>2</sub> des industries en Asie et en Russie vers l'Europe et l'Amérique du Nord. La consommation en biens manufacturés de ces deux dernières régions induit des émissions très importantes de CO<sub>2</sub> à l'extérieur, surtout en Asie.

### 3.2.1.2) FLUX D'ÉNERGIE ET DE CO<sub>2</sub> DANS LE CAS FRANÇAIS

Suite à la description de la situation mondiale, nous traitons d'un cas particulier : celui de la France. Il est intéressant d'analyser un pays européen car cela permet de profiter de la nomenclature détaillée de l'industrie pour l'Union européenne, d'analyser les flux d'énergie et de CO<sub>2</sub> contenus dans les échanges commerciaux à l'intérieur d'une grande zone géographique et de pouvoir réaliser plus facilement une analyse « synthétique » des flux. Les deux types de méthodes sont appliqués pour la France. Enfin, le cas de l'électricité contenue dans les produits manufacturés permet de présenter les résultats pour un type d'énergie précis.

### i. Flux d'énergie grise dans les exportations et les importations de la France

La figure 150 présente, avec la méthode « descriptive », les flux d'énergie grise dans les exportations et les importations de la France avec les pays frontaliers ainsi qu'avec les principales régions d'Europe et du Monde. En parallèle, la figure 151 décrit les flux d'énergie avec la méthode « synthétique ». C'est-à-dire que l'analyse porte sur les pays où l'énergie a été consommée par l'industrie manufacturière et ensuite sur les pays où les biens contenant cette énergie sont achetés par les consommateurs finaux, hors-industrie.

#### *Méthode « descriptive »*

Dans le premier cas, on constate d'abord un flux majeur d'énergie grise provenant d'Asie vers la France (154 TWh/an). Ce flux représente 19 % des importations d'énergie grise en France et environ 10 % des exportations d'énergie grise de l'Asie vers l'Europe. Ce flux d'énergie représente 30 % de la consommation totale d'énergie de l'industrie française (513 TWh/an).

Ensuite, des flux importants existent également avec les pays frontaliers : l'Allemagne, le Benelux, l'Italie, le Royaume-Uni et l'Irlande ainsi qu'avec la péninsule Ibérique. Les flux frontaliers représentent 57 % de l'énergie grise importée en France, soit 471 TWh par an. C'est donc, à peu près, l'équivalent de la consommation totale d'énergie de l'industrie française. A l'inverse, les exportations d'énergie grise de la France vers ces pays frontaliers représentent 394 TWh/an, soit 77 % de la consommation domestique de l'industrie<sup>134</sup>. Ces chiffres très élevés, dans les échanges d'énergie contenue les produits manufacturiers, traduisent la forte intégration de l'industrie européenne. Les biens intermédiaires sont importés, transformés puis réexportés vers un autre pays européen. La fragmentation de l'industrie européenne est très avancée.

Les autres principaux exportateurs d'énergie grise vers la France sont, dans l'ordre, l'Amérique du Nord (54 TWh/an), l'Afrique (27 TWh/an), le Moyen-Orient (26 TWh/an), les pays d'Europe de l'Est (23 TWh/an) et la Scandinavie (22 TWh/an).

Si on calcule le solde net des échanges d'énergie grise par partenaire commercial, on note d'abord

Il existe un déficit important d'énergie grise dans les échanges internationaux de la France, soit -200 TWh/an (Figure 147). Ce déficit apparaît à la fois dans les échanges avec les pays émergents (Asie) et également avec les pays développés (Allemagne, Benelux, Amérique du Nord). Dans les échanges bilatéraux où la France est exportatrice nette d'énergie grise, la valeur positive du solde reste faible (UK/Irlande, Suisse/Autriche/Slovenie). Ce déficit en énergie grise provient des facteurs suivants :

- Solde négatif des échanges de produits manufacturés en valeur.
- Plus faible intensité énergétique de l'industrie française, surtout par rapport à l'Asie et aux pays d'Europe de l'Est.
- Structure des exportations françaises, composées de produits avec un faible contenu en énergie pour une forte valeur ajoutée (ex. produits pharmaceutiques ou cosmétiques).

Pour illustrer ces derniers points, une comparaison de la répartition de l'énergie grise importée et exportée, en Europe et Hors-UE, selon les secteurs industriels est présentée dans les figures 148 et

<sup>134</sup> Il faut toutefois se rappeler que cette énergie n'est pas forcément consommée en France. La France peut ainsi importer de l'énergie grise dans des biens intermédiaires, puis les réexporter après les avoir transformés.

149. Le premier constat est qu'il existe peu de différences dans la répartition des importations et des exportations avec l'Union européenne. Les différences d'intensité énergétique sont également faibles. Le déficit en énergie grise provient donc essentiellement des écarts dans la valeur des échanges de produits manufacturés entre ces pays. Par exemple, l'Allemagne exporte plus d'automobiles, de produits chimiques vers la France qu'elle n'en importe. Ces produits possèdent un fort contenu en énergie et induisent donc une balance négative en énergie grise pour la France.

Ensuite, avec les pays hors-UE, il existe des différences notables dans la structure des échanges qui peuvent expliquer le solde négatif en énergie grise. Notamment, la France exporte principalement des produits des industries du transport (automobile, aéronautique), avec une forte valeur ajoutée, alors qu'elle importe surtout des produits avec un contenu élevé en énergie et une faible valeur ajoutée (ex. produits minéraux non-métalliques). De plus, l'intensité énergétique de l'industrie française est souvent plus faible que celle des pays hors-UE. Ainsi, alors que le solde net, en valeur, est positif pour la France avec les pays hors-UE (+15 milliards d'euros en 2005), le solde d'énergie grise est négatif avec ces pays.

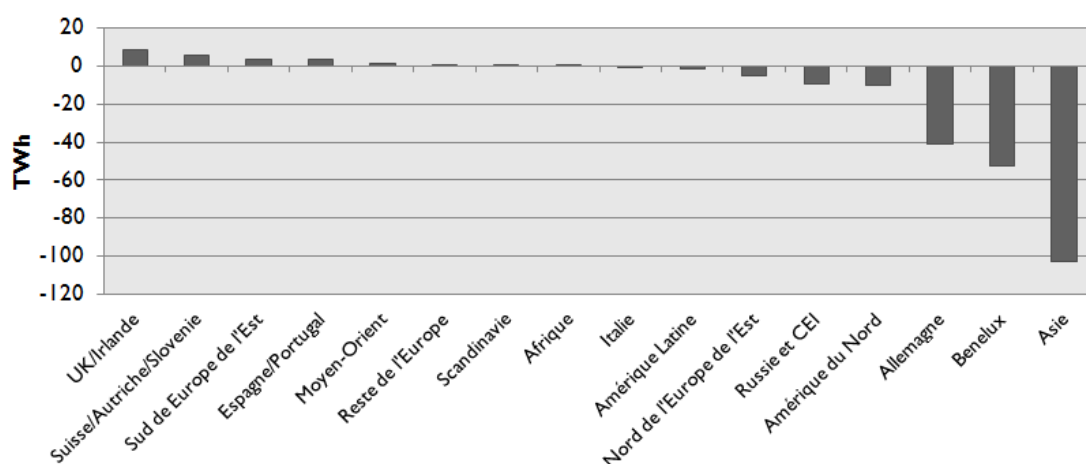


Figure 147 : Solde net des échanges d'énergie contenue dans les biens manufacturés pour la France en 2005

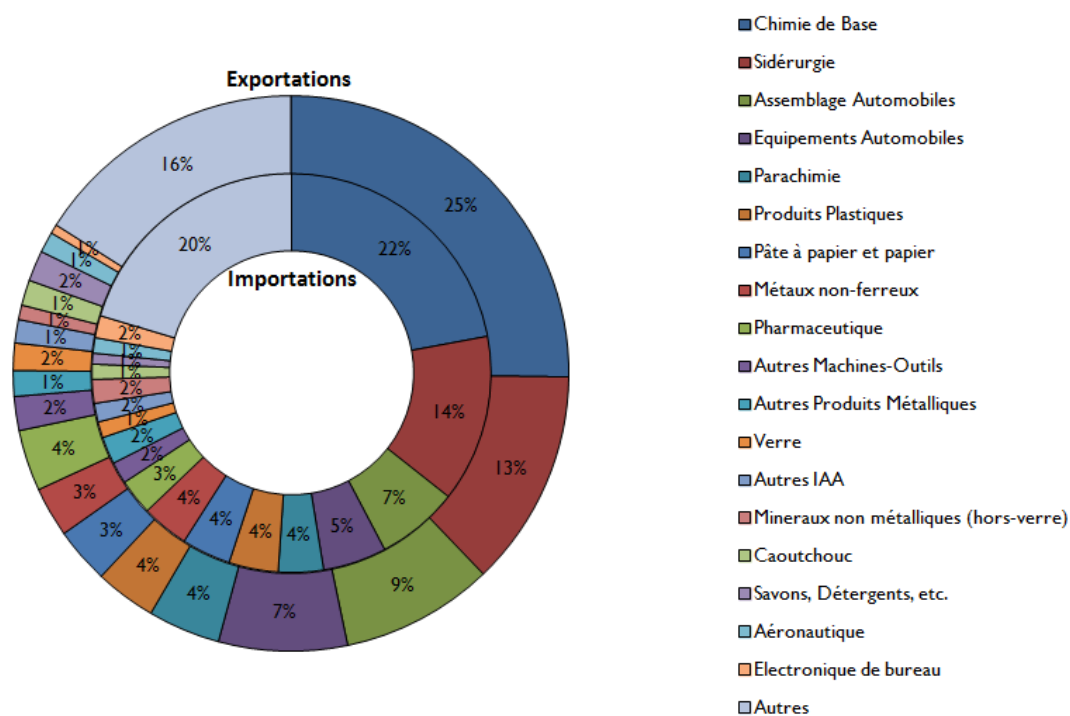


Figure 148 : Répartition de l'énergie contenue dans les échanges commerciaux de la France avec l'Union européenne en 2005

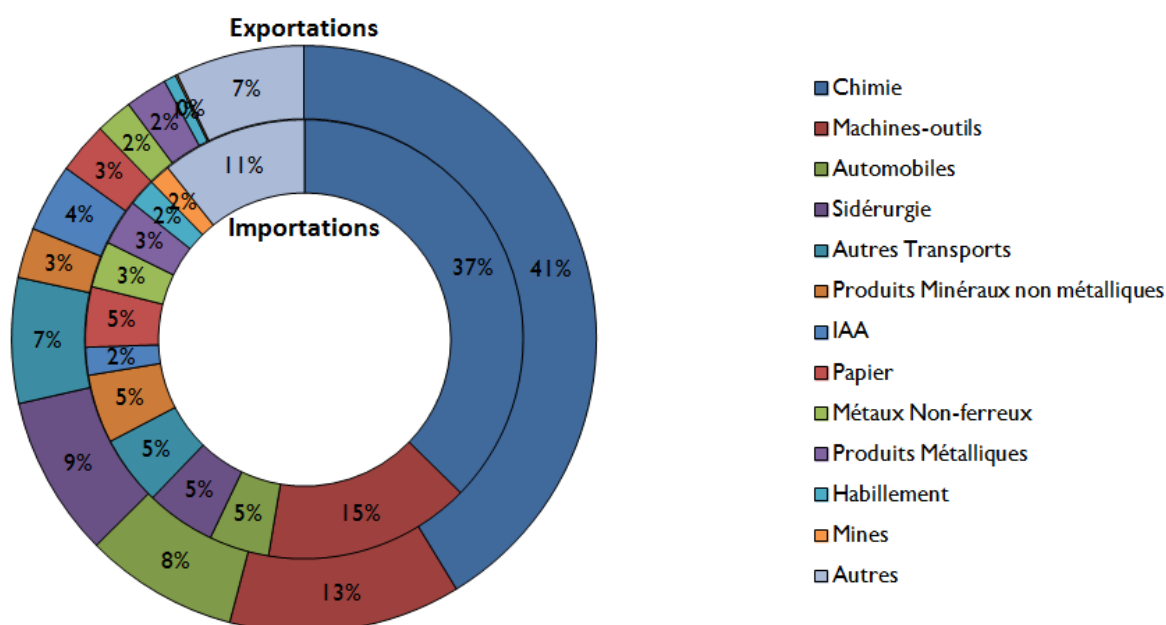


Figure 149 : Répartition de l'énergie contenue dans les échanges commerciaux de la France avec le Monde (hors-UE) en 2005

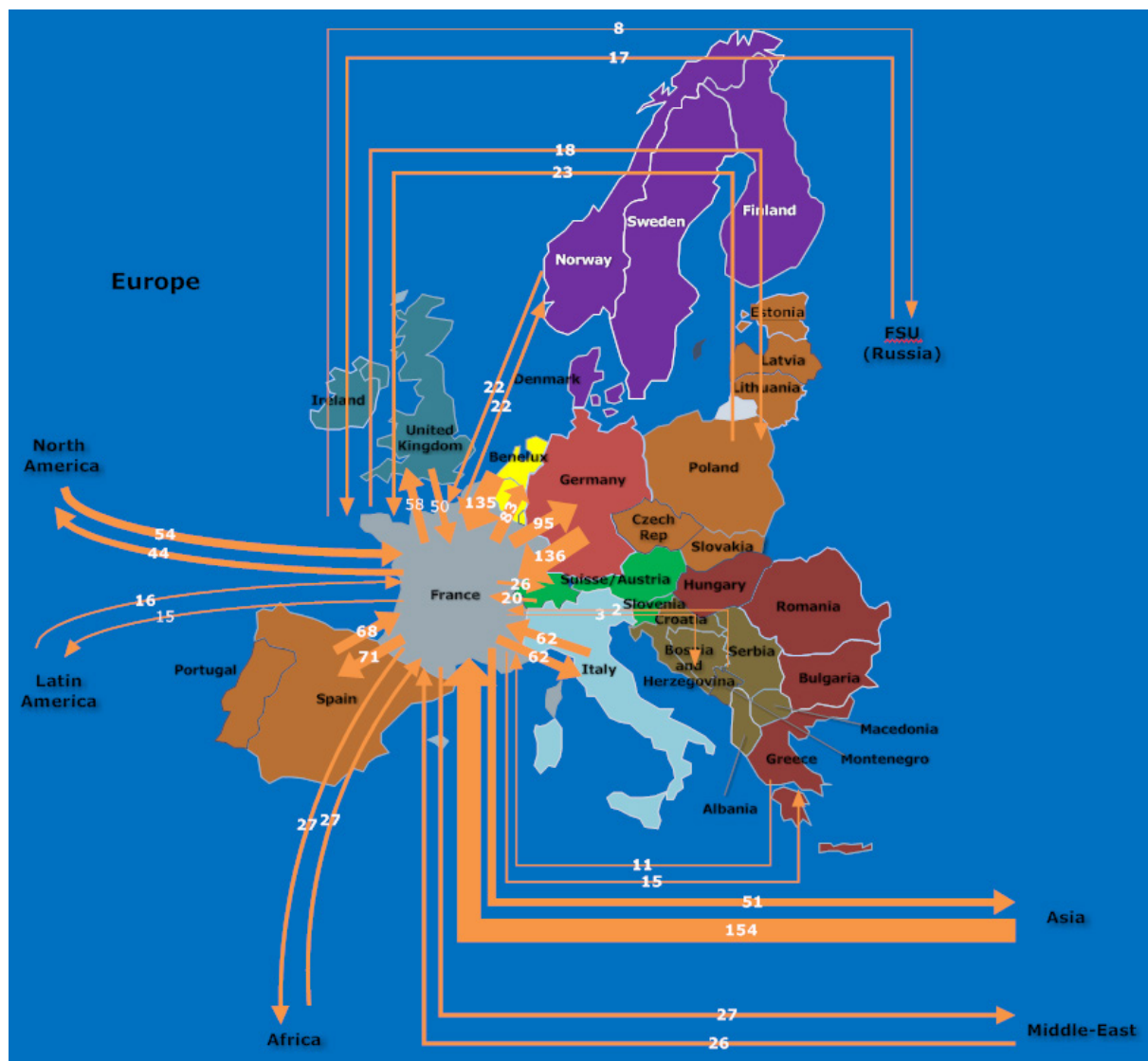


Figure 150 : Flux d'énergie contenue dans les produits manufacturés à partir et vers la France en 2005 (en TWh). Méthode « descriptive » (p. 318)

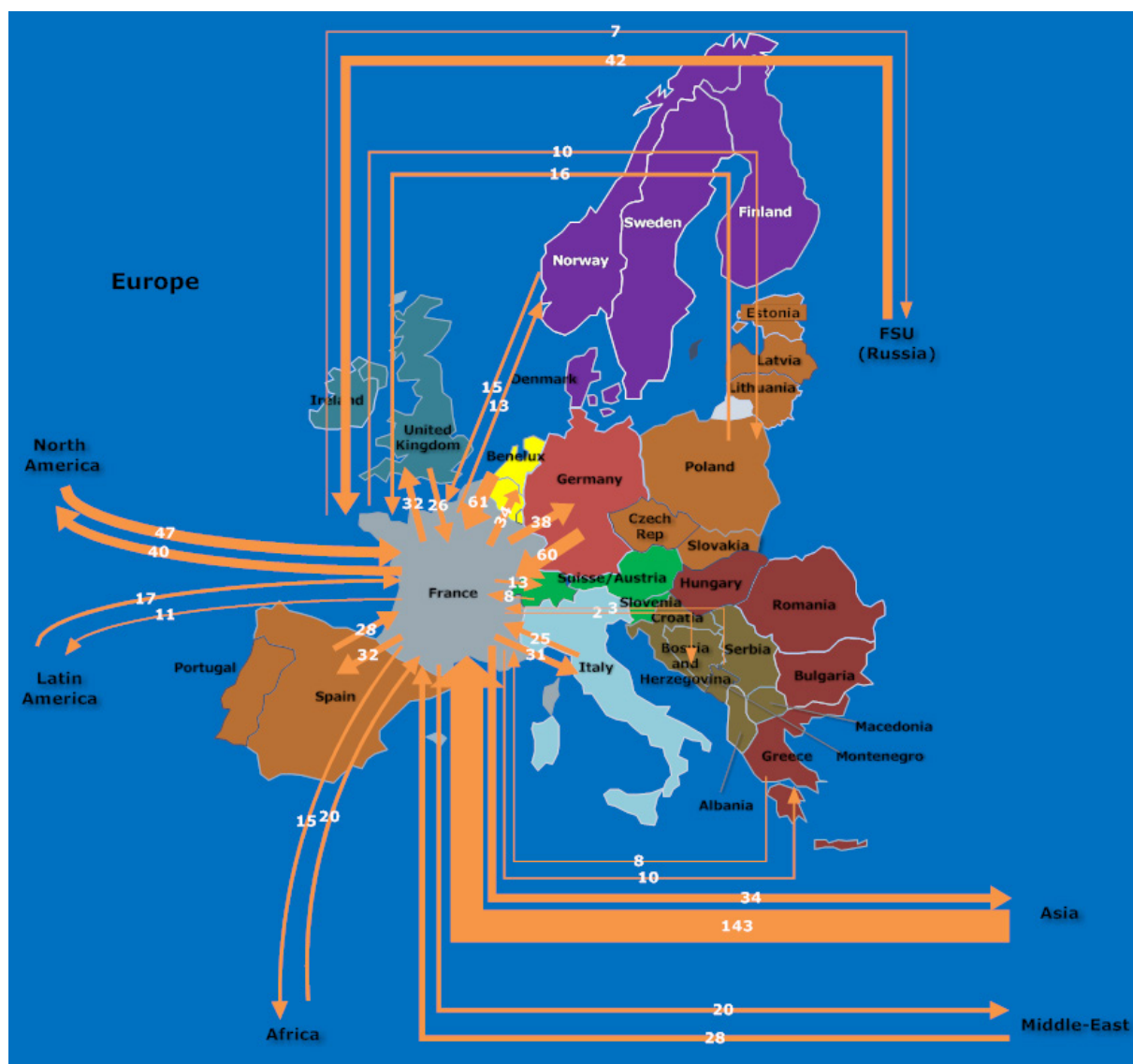


Figure 151 : Lieu de consommation de l'énergie contenue dans les produits manufacturés consommés en France et lieu de consommation de l'énergie du secteur énergétique français en 2005 (en TWh). Méthode « synthétique » (p. 318)

*Méthode « synthétique »*

La figure 151 présente les résultats sur les lieux de consommation de l'énergie nécessaire à la production des biens manufacturés consommés en France. L'énergie contenue dans les biens intermédiaires importés, transformés en France, puis réexportés n'est pas prise en compte. L'analyse inverse est également réalisée pour savoir où sont utilisés les produits manufacturés contenant de l'énergie consommée en France. La somme totale des flux d'énergie grise est donc inférieure à celle de la méthode « descriptive » qui comptabilise parfois deux fois la même consommation d'énergie.

Le principal résultat visible avec cette méthode « synthétique » est qu'une grande partie de l'énergie contenue dans les importations provenant des pays de l'UE, provient en réalité de l'extérieur de l'UE. Par exemple, 136 TWh sont contenus dans les exportations de l'Allemagne vers la France, mais seuls 60 TWh ont été consommés en Allemagne et achetés sous forme de produits manufacturés en France. A l'inverse, 17 TWh sont contenus dans les exportations de la Russie vers la France, alors que 42 TWh consommée en Russie sont contenus dans les biens manufacturés utilisés en France. C'est une des conséquences de la fragmentation de la chaîne de production industrielle internationale. Ainsi, la Russie produit des biens intermédiaires avec une forte intensité énergétique (ex. chimie de base) qui sont ensuite exportés vers l'Allemagne. En Allemagne, ces biens sont transformés, avec une faible intensité énergétique, puis vendus en France sous la forme de produits finis. Cet exemple de décomposition de la production prend en compte les différentes fonctions de production et intensités énergétiques propres à chaque secteur et à chaque pays. C'est un des principaux avantages de l'utilisation d'un modèle TES international avec des flux d'échanges multi-directionnels. En effet, de nombreux modèles TES sont soit uniquement basés sur un pays, ou ne considèrent que des échanges uni-directionnels. Dans ce dernier cas, on aurait alors considéré que tous les produits exportés de l'Allemagne vers la France avaient été produits entièrement en Allemagne.

On retrouve ce constat en comparant l'origine des importations de produits manufacturés, en valeur, en France avec l'origine de l'énergie contenue à l'intérieur de ces produits. Selon la figure 153, les principaux exportateurs de produits manufacturés vers la France sont : l'Allemagne (22 %), l'Italie (10 %), la Belgique (9 %), l'Espagne (8 %), les Etats-Unis (6 %), le Royaume-Uni (6 %) et la Chine (6 %). La Russie représente moins de 1 % des importations en valeur de la France. Mais l'analyse de la figure 152 remet fortement en cause cette hiérarchie pour l'origine de l'énergie contenue dans les produits manufacturés. Ainsi, la Chine devient le premier exportateur d'énergie grise vers la France, devant l'Allemagne malgré des exportations quatre fois plus faibles en valeur. De même, alors que la Russie est peu visible dans les exportations directes vers la France, c'est le troisième pays exportateur d'énergie grise. Cela confirme donc la notion de fragmentation de l'industrie manufacturière sur plusieurs pays.

La méthode « synthétique » permet de démontrer l'effet de la fragmentation de la chaîne de valeur industrielle sur les flux d'énergie grise entre pays. Il apparaît alors que l'économie française ne dépend pas seulement des prix domestiques de l'énergie, mais également des prix de l'énergie à l'étranger, surtout en Chine, en Allemagne, en Russie, en Belgique et aux Etats-Unis. Les choix de politique énergétique dans ces pays ont une influence sur l'économie française, soit sur la production industrielle soit sur la consommation de biens manufacturés.



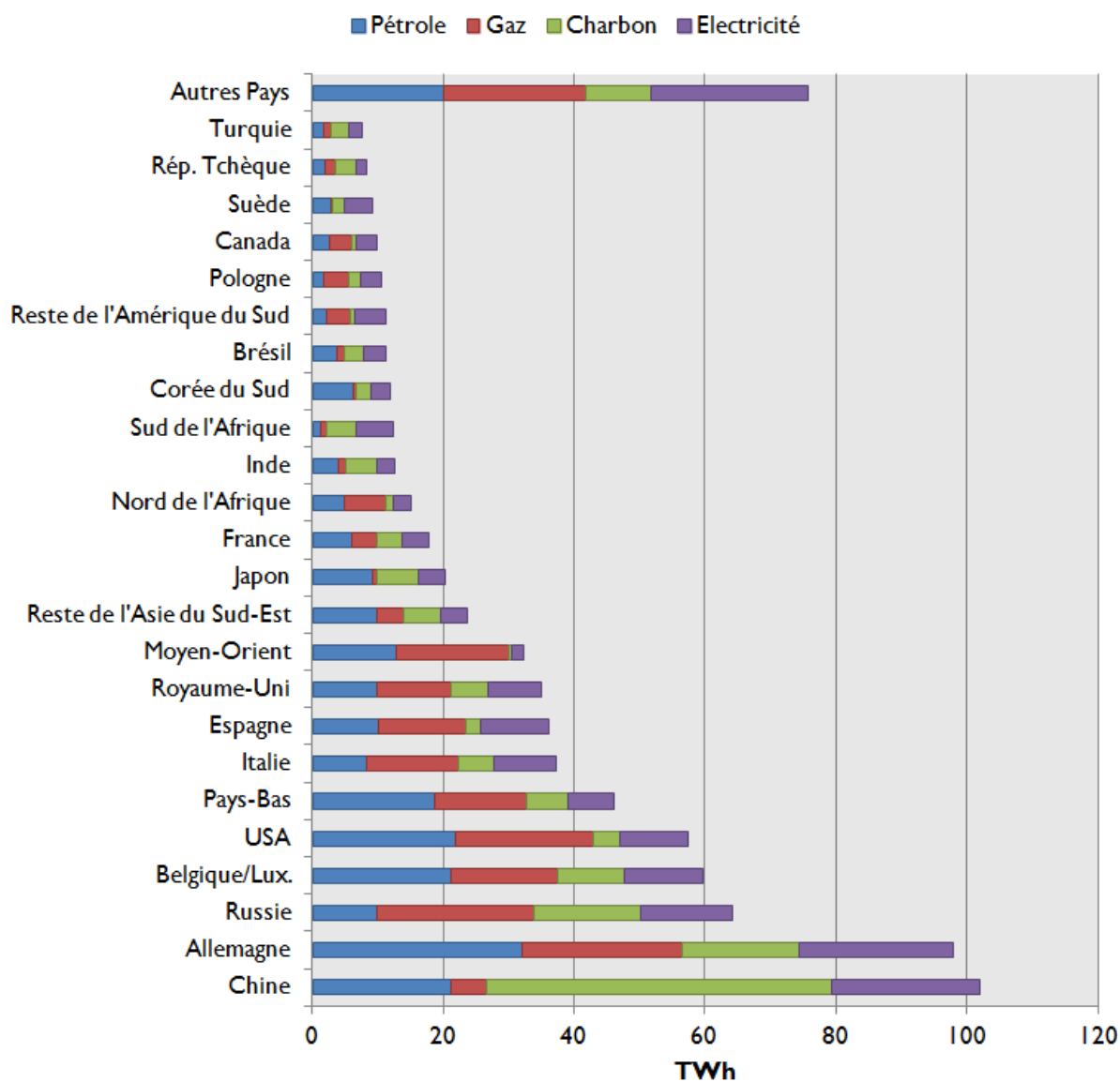


Figure 152 : Origine de l'énergie grise contenue dans les importations de produits manufacturés en France en 2005

Origine des importations de produits manufacturés en valeur en France en 2005

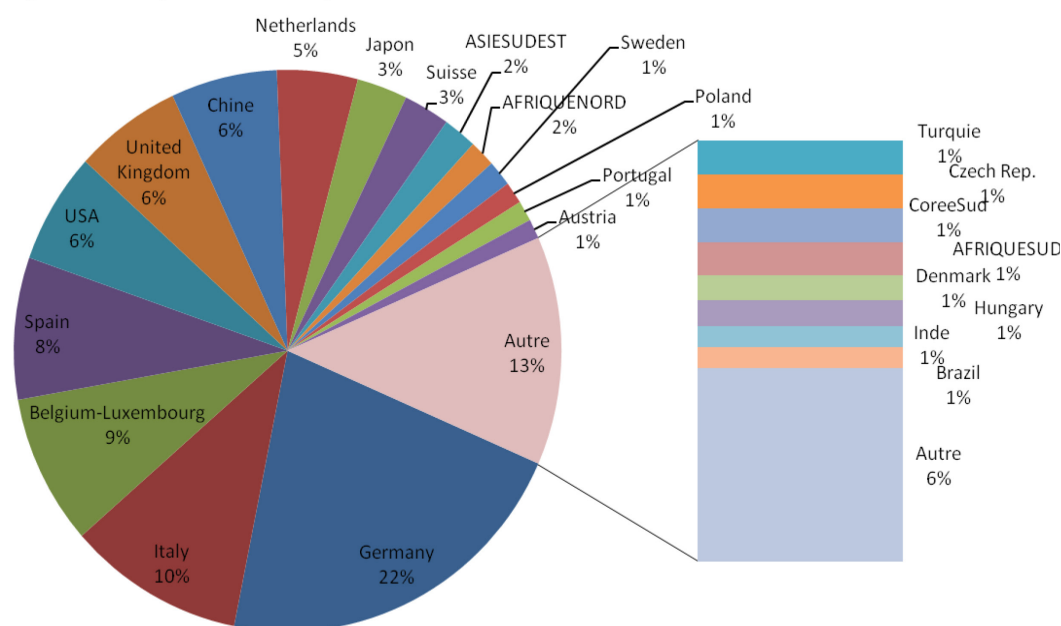


Figure 153 : Origine des importations de produits manufacturés en valeur en France en 2005

## ii. Flux de CO<sub>2</sub> contenu dans les exportations et importations de la France

Comme pour la représentation mondiale, les flux de CO<sub>2</sub> contenu dans les produits manufacturés en France sont liés aux flux d'énergie grise (Figure 155). De plus, les déséquilibres existant entre les flux d'exportations et d'importations sont accentués par le faible contenu en CO<sub>2</sub> de l'électricité française. Par exemple, l'énergie grise exportée de la France vers le Royaume-Uni est supérieure de 8 TWh à celle importée. Pourtant, les exportations de CO<sub>2</sub> vers le Royaume-Uni sont, quant à elles, moins élevées que les importations (-2 MtCO<sub>2</sub>). Ce constat est encore plus marqué dans les échanges entre la France et l'Asie. Ainsi, pour 154 TWh/an d'énergie grise importés d'Asie vers la France, la correspondance est de 60 MtCO<sub>2</sub>/an importés. Pour les exportations de la France vers l'Asie, le contenu énergétique est de 51 TWh/an et le contenu en CO<sub>2</sub> de seulement 11 MtCO<sub>2</sub>/an. Il y a donc environ deux fois plus de CO<sub>2</sub> par TWh dans les produits venant d'Asie que dans ceux partant de la France vers l'Asie.

De ce fait, le flux dominant de CO<sub>2</sub> en France provient d'Asie (69 MtCO<sub>2</sub>/an). Le second exportateur de CO<sub>2</sub> vers la France est l'Allemagne (36 MtCO<sub>2</sub>/an), suivi du Benelux (32 MtCO<sub>2</sub>/an). Ce sont également les deux pays vers lesquels la France exporte le plus de CO<sub>2</sub> au travers des produits manufacturés. De manière générale, la France possède un solde net très négatif pour les flux de CO<sub>2</sub>. Il est de -114 MtCO<sub>2</sub>/an alors que le total des émissions de l'industrie française est de 95 MtCO<sub>2</sub>/an. La France importe donc plus de CO<sub>2</sub> dans les produits manufacturés que ce qui est émis par son industrie manufacturière.

D'après la méthode « synthétique », les émissions induites par la consommation des biens manufacturés importés en France, ont principalement lieu en Asie (35 % des émissions importées), en Amérique du Nord (9 %), en Allemagne (9 %) et en Russie (7 %). Les flux de CO<sub>2</sub> provenant

d'Europe sont donc pour une grande partie émis hors-UE. Plus d'émissions sont induites en Asie par la consommation française que dans tous les pays frontaliers réunis.

### iii. Energie contenue dans les produits des secteurs industriels français

De nombreux secteurs industriels consomment peu d'énergie directement à partir du secteur énergétique. Ils ne sont pas considérés comme des IGCE. Cependant, l'estimation de l'énergie contenue dans les produits manufacturés permet d'obtenir une image plus précise de leur dépendance aux prix de l'énergie. La figure 154 présente ainsi le contenu en énergie, par rapport à la valeur de la production, de chaque secteur industriel français en 2005. Cette énergie représente l'énergie nécessaire à la production des biens manufacturés tout au long de la chaîne de valeur industrielle.

Les industries grandes consommatrices d'énergie sont logiquement celles avec le contenu en énergie le plus élevé par rapport à la valeur de production. Cependant, des secteurs plus en aval dans la chaîne de production industrielle, contiennent également une quantité importante d'énergie. Une part importante de leur valeur dépend de l'évolution des prix de l'énergie, même s'ils ne consomment pas directement cette énergie. Ainsi, les secteurs de la transformation des matières plastiques, de la fabrication d'équipements automobiles et de la parachimie sont presque aussi dépendants des marchés de l'énergie que les industries du verre ou du papier. Dans une moindre mesure, l'industrie du caoutchouc, le travail des métaux, la fabrication de moteurs et de génératrices et la production de machines agricoles sont aussi significativement dépendants des prix de l'énergie. Enfin, une part non négligeable d'énergie est contenue dans les produits de l'industrie pharmaceutique et de la construction automobile, deux secteurs majeurs dans l'industrie française, avec plus de 1 GWh d'énergie par million d'euros de production.

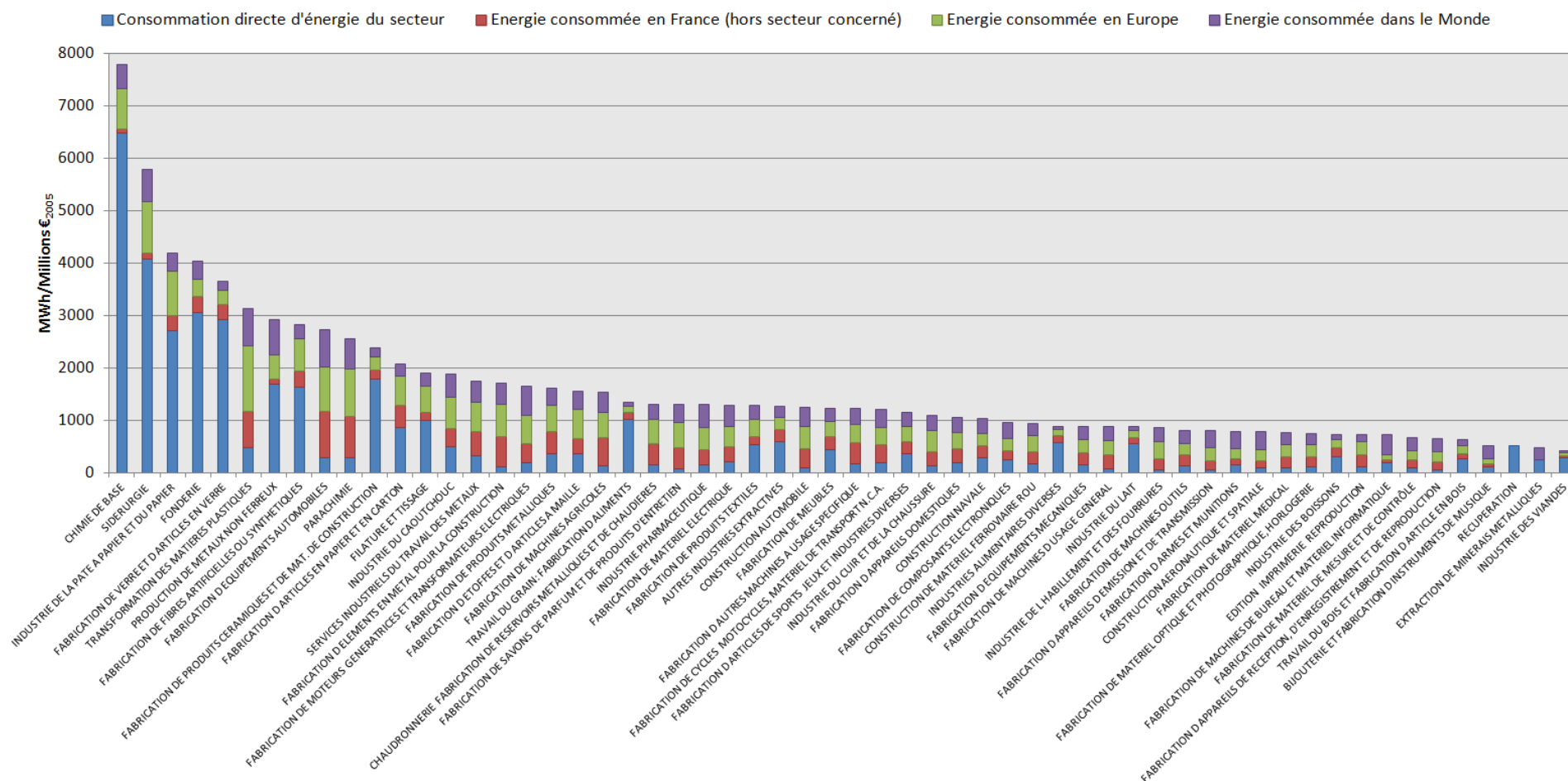


Figure 154 : Energie contenue dans les produits manufacturés de l'industrie française en 2005

---

#### iv. Cas de l'électricité en France

---

Jusqu'à présent, l'analyse a porté sur les flux d'énergie grise, sans distinction des différentes formes d'énergie. Nous nous intéressons désormais plus particulièrement au cas des flux d'électricité contenue dans les produits manufacturés. L'étude de l'électricité est intéressante car c'est une énergie qui dépend fortement de la situation énergétique de chaque pays, au contraire des autres formes d'énergie qui peuvent être importées.

Dans un premier temps, la carte des flux d'électricité contenue dans les biens manufacturés décrit une répartition géographique à peu près similaire à celle de l'énergie dans son ensemble (Figure 157). L'électricité constitue 24 % des flux d'énergie grise en France. Néanmoins, quelques variations dans la répartition des flux apparaissent. D'abord, la part de l'électricité est plus importante dans les exportations d'énergie grise des pays européens que dans celles des régions hors-UE, notamment pour les flux provenant d'Allemagne, de Scandinavie et de la Péninsule Ibérique. Le cas scandinave est intéressant car si les flux d'énergie grise sont équilibrés entre la France et la Scandinavie, cette région exporte deux fois plus d'électricité par l'intermédiaire des biens manufacturés qu'elle n'en importe de France. Cet écart provient notamment des exportations massives de papier de Suède et de Finlande ainsi que d'aluminium de Norvège vers la France, des industries consommant de grandes quantités d'électricité.

Les résultats démontrent l'existence de flux massifs d'électricité contenue dans les importations et les exportations (Figure 158). L'industrie française a consommé 140 TWh d'électricité en 2005, alors que 192 TWh sont contenus dans les importations. Durant la même période, 148 TWh d'électricité ont été nécessaires à la production des exportations françaises (une électricité provenant à la fois du secteur énergétique français mais aussi des importations de biens intermédiaires). Au niveau de la consommation finale de biens manufacturés en France, seulement 26 % de l'électricité contenue dans ces biens est effectivement consommée sur le territoire. Cela démontre l'intégration très forte de l'industrie française dans l'industrie mondiale et surtout européenne du point de vue énergétique.

Les tableaux 32 et 33 décrivent les principaux secteurs<sup>135</sup> exportateurs et importateurs d'électricité grise en France. Au niveau de l'UE, l'électricité grise est principalement importée dans les produits de la sidérurgie, de la chimie de base et des métaux non-ferreux. A l'inverse, la France exporte de l'électricité grise surtout avec la chimie de base, la sidérurgie et l'automobile (véhicules finis et équipements). Il existe également des flux importants liés aux industries de la pharmaceutique et de la parachimie. Avec les régions hors-UE, le secteur de la chimie est encore présent mais les importations de machines-outils, de matériels électriques et d'équipements électroniques constituent aussi des flux significatifs d'électricité. Dans les exportations hors-UE, l'électricité française est transférée principalement avec la chimie de base et la sidérurgie mais aussi avec l'aéronautique.

---

<sup>135</sup> Pour rappel, le niveau de précision sectoriel est plus élevé pour l'UE que pour les régions hors-UE, d'où des dénominations différentes dans ces tableaux.

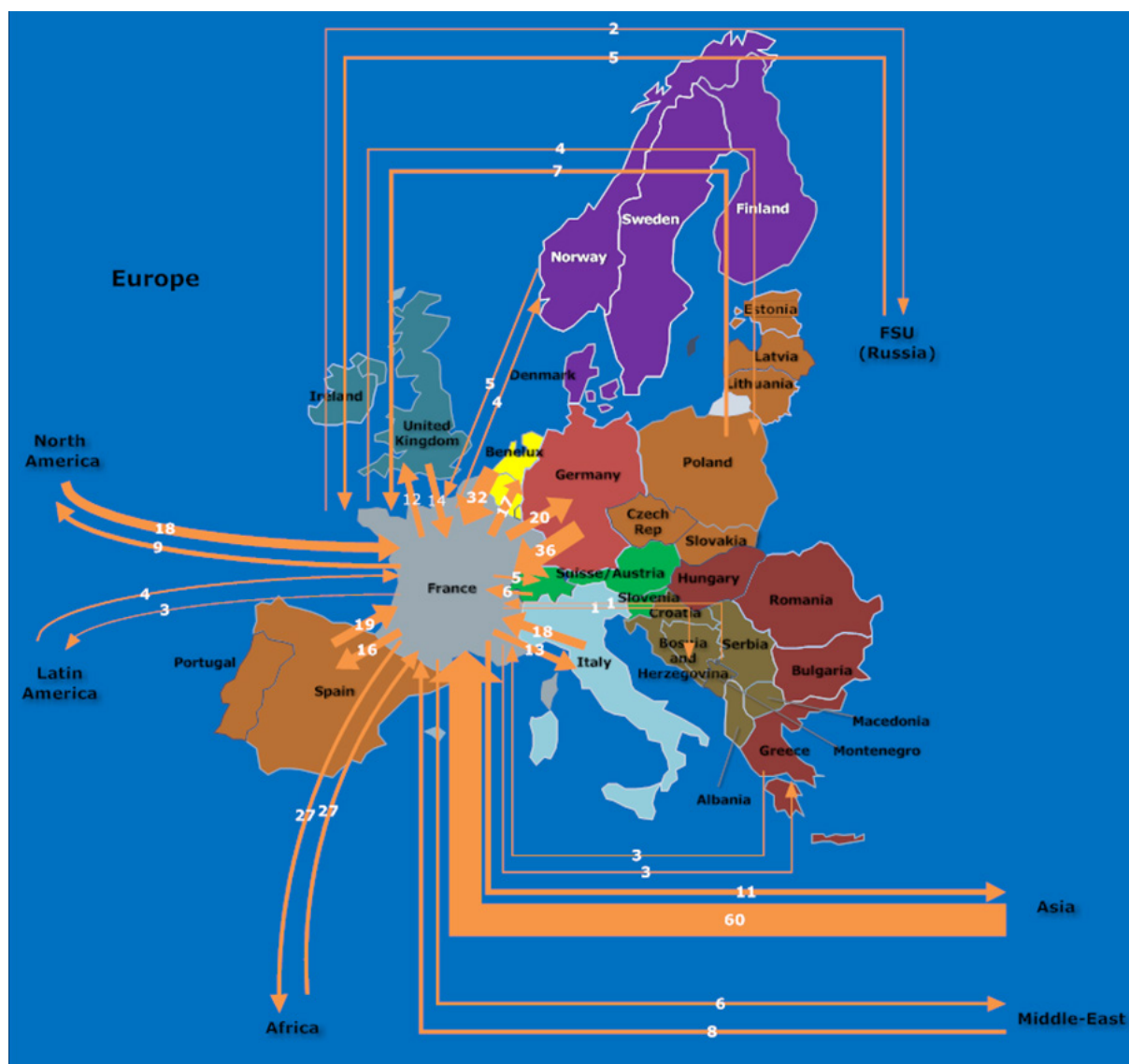
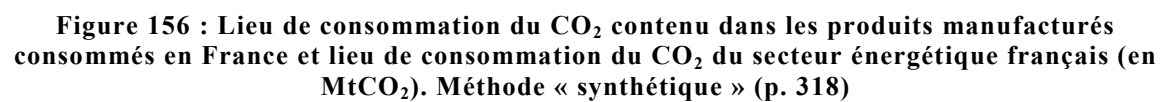


Figure 155 : Flux de CO<sub>2</sub> contenu dans les produits manufacturés à partir et vers la France en 2005 (en MtCO<sub>2</sub>). Méthode « descriptive »





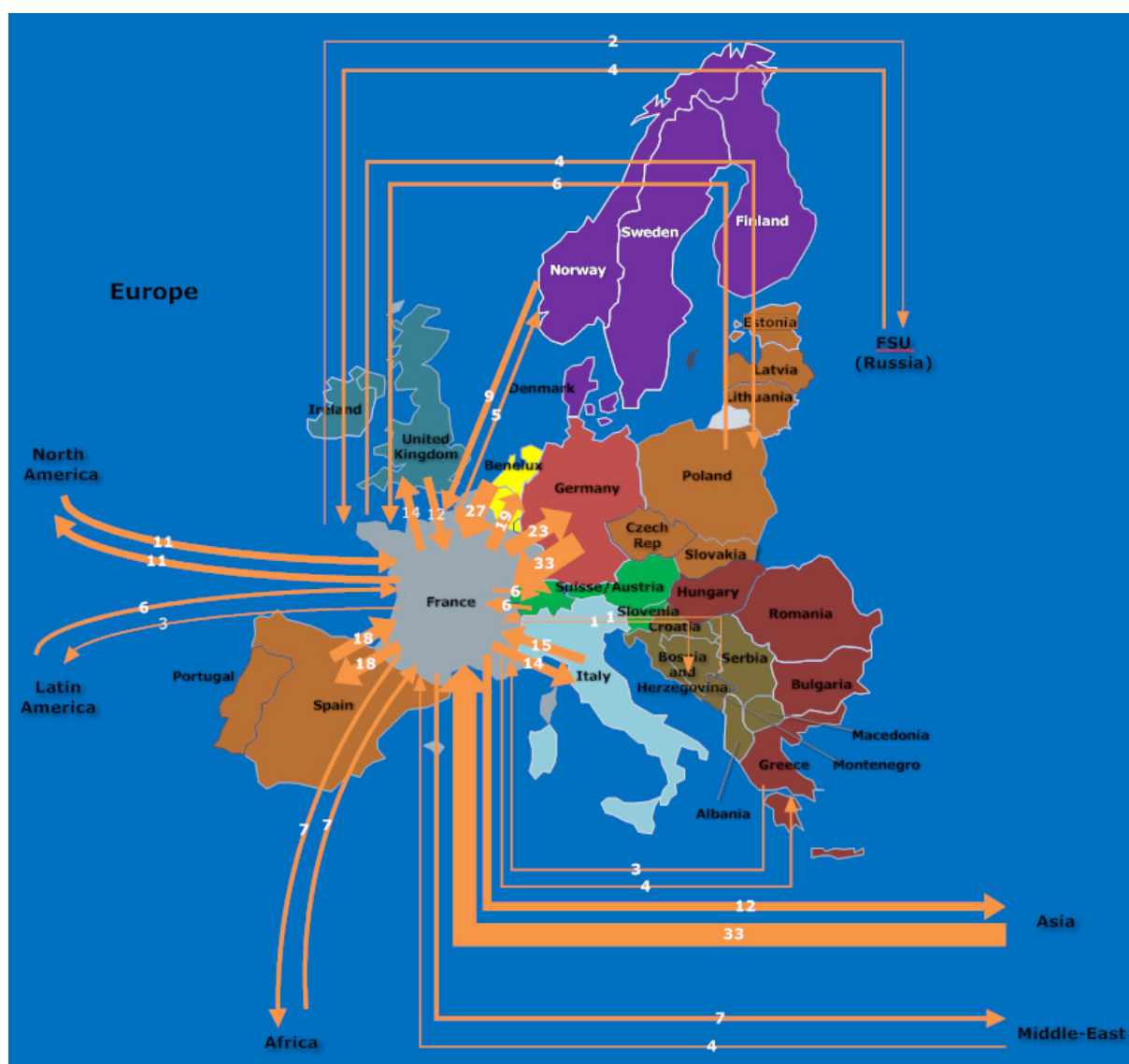


Figure 157 : Flux d'électricité contenue dans les produits manufacturés à partir et vers la France en 2005 (en TWh). Méthode « descriptive » (p. 318)

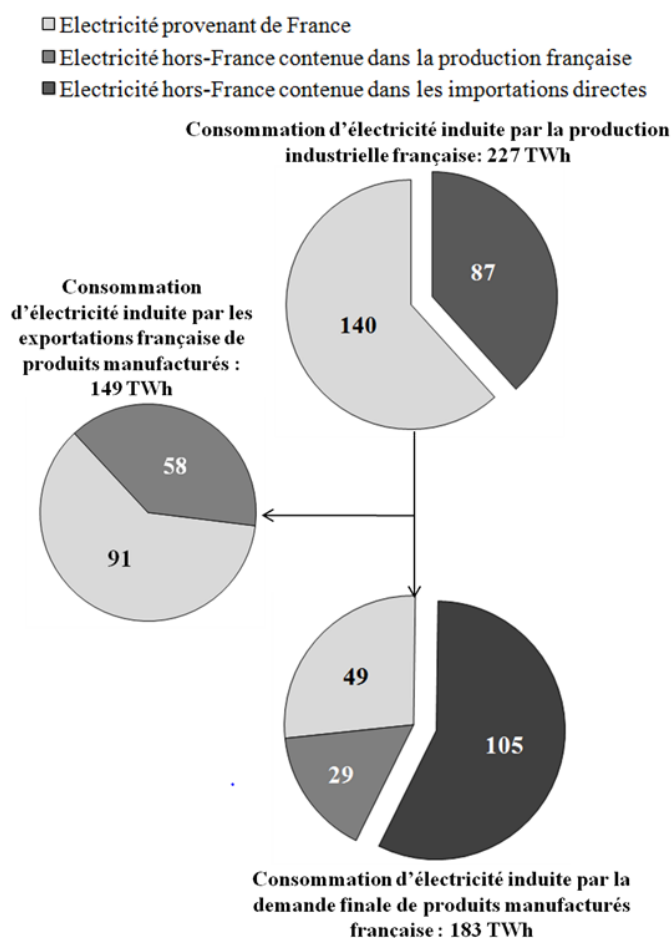


Figure 158 : Bilan des flux d'électricité dans les produits manufacturés en France en 2005.

Secteurs Importateurs en UE (TWh)		Secteurs Importateurs hors-UE (TWh)	
Sidérurgie	13.8	Chimie	12.1
Chimie de base	12.8	Machines-outils,	10.2
		Matériels électriques	
Métaux non-ferreux	11.1	Équipement électronique	9.2
Automobile	9.7	Métaux non-ferreux	7.4
Pâte à papier et papier	8.4	Divers industries	3.7
Équipement automobile	7.8	Textile	3.1
Produits plastiques	4.0	Produits métalliques	2.7
Parachimie	3.3	Sidérurgie	2.6

Tableau 32 : Flux d'électricité dans les importations de produits manufactures de la France en 2005

Secteurs Exportateurs en UE (TWh)		Secteurs Exportateurs hors-UE (TWh)	
Chimie de base	12.0	Chimie de base	5.0
Sidérurgie	11.5	Aéronautique	3.6
Automobile	10.7	Sidérurgie	3.6
Équipement automobile	9.9	Équipement automobile	2.8
Métaux non-ferreux	7.4	Pharmaceutique	2.8
Pâte à papier et papier	5.6	Métaux non-ferreux	2.2
Pharmaceutique	3.2	Automobile	2.1
Parachimie	3.1	Équipement électrique	1.9

Tableau 33 : Flux d'électricité dans les exportations de produits manufactures de la France en 2005

### 3.2.2) L'ORIGINE GEOGRAPHIQUE ET SECTORIELLE DES CONSOMMATIONS D'ENERGIE IMPLIQUE UNE DEPENDANCE FORTE DE L'INDUSTRIE AUX PRIX NON-DOMESTIQUES DE L'ENERGIE

La section précédente a souligné l'importance des flux d'énergie contenue dans les produits manufacturés dans le Monde et surtout en Europe. De tels flux d'énergie grise modifient la perception du rôle de l'énergie dans la compétitivité des industries manufacturières. Le prix des biens intermédiaires nécessaires à la production industrielle n'est pas seulement dépendant des prix de l'énergie au niveau national mais également de ces prix à l'étranger. Une politique énergétique dans un autre pays peut avoir des conséquences sur la compétitivité d'une industrie nationale. Cette section étudie cette question en détails pour l'industrie européenne dans les deux premières parties. Puis, la dernière partie discute de la problématique de la responsabilité des émissions de CO<sub>2</sub>. Qui doit payer une taxe sur les émissions de CO<sub>2</sub>, les producteurs industriels ou les consommateurs ? Comment imposer un prix sur le dioxyde de carbone afin de réduire efficacement les émissions ? Des questions qui représentent un enjeu majeur pour les négociations internationales sur une politique environnementale.

#### 3.2.2.1) UN QUART DE L'ENERGIE CONTENUE DANS LA PRODUCTION INDUSTRIELLE EUROPEENNE PROVIENT DE L'EXTERIEUR DE L'UNION EUROPEENNE

Cette section décrit les principaux résultats sur les flux d'énergie et de CO<sub>2</sub> contenus dans les biens manufacturés dans l'industrie européenne. Le tableau 34 représente ces flux dans la production, la consommation et les échanges bilatéraux de l'industrie. Les premiers graphiques en secteurs situés en haut, nommés « EU production », affichent le montant total d'énergie et de CO<sub>2</sub> contenus dans les biens manufacturés produits en Europe. La consommation totale d'énergie de l'industrie européenne est de 4 188 TWh en 2005. Ce chiffre est à comparer à celui de l'énergie contenue dans les importations qui est de 3 160 TWh<sup>136</sup>. L'énergie contenue dans les produits manufacturés équivaut donc à 75 % de l'énergie consommée par l'industrie européenne.

Le tableau « Origin of Imports » décrit la localisation de la consommation<sup>137</sup> par l'industrie de cette énergie importée par l'UE et celui « Destination of Exports » définit les principales destinations des exportations d'énergie grise de l'industrie européenne. L'énergie grise importée en Europe provient surtout de deux zones : la Chine (756 TWh), la Russie et les anciens pays soviétiques (627 TWh). Ces pays se caractérisent par une très forte intensité énergétique de leur industrie, ce qui explique l'ampleur de ces flux d'énergie grise.

Toutefois, une partie de cette énergie ne parvient pas directement en Europe mais est d'abord exportée vers d'autres régions, transformée puis réexportée vers l'UE. Cela reflète la fragmentation de l'industrie manufacturière au niveau mondial, comme cela a été introduit dans la section précédente. Ces exportations indirectes d'énergie grise constituent respectivement 14 % et 16 % de la valeur totale des exportations provenant de Chine et de Russie. Au niveau national, la part des exportations indirectes peut être significativement plus élevée. Par exemple, dans les importations françaises, 74 % de l'énergie grise provenant de Russie, 31 % pour la Chine, n'est pas contenue dans les flux directs de

<sup>136</sup> Parmi cette énergie contenue dans les importations, une partie provient de l'industrie européenne du fait d'une suite d'exportations et de réimportations des produits industriels.

<sup>137</sup> Méthode « synthétique ».

commerce entre ces pays, mais indirectement au travers des échanges avec d'autres pays. Ce point est important car les résultats des modèles entrées-sorties multi-régionaux utilisant l'hypothèse des « échanges uni-directionnels »<sup>138</sup> peuvent ainsi être erronés pour des études au niveau des pays.

Une part des importations de biens manufacturés est composée de produits finis, utilisés par les autres branches de l'économie, hors industrie manufacturière. Cette part contient 1 807 TWh d'énergie et 614 MtCO<sub>2</sub>. L'autre part de ces importations est constituée de biens intermédiaires qui sont consommés par l'industrie européenne. Ces biens contiennent 1 351 TWh d'énergie et 486 MtCO<sub>2</sub>. Ainsi, l'énergie nécessaire à la production industrielle européenne est non pas uniquement de 4 188 TWh mais significativement supérieure, soit de 5 539 TWh. Environ un quart de l'énergie contenue dans la production industrielle européenne provient des pays hors-UE. Le rôle de l'énergie dans la compétitivité de l'industrie européenne ne dépend pas seulement des prix de l'énergie dans l'UE mais aussi de ces prix dans les autres régions du monde, notamment en Chine et en Russie.

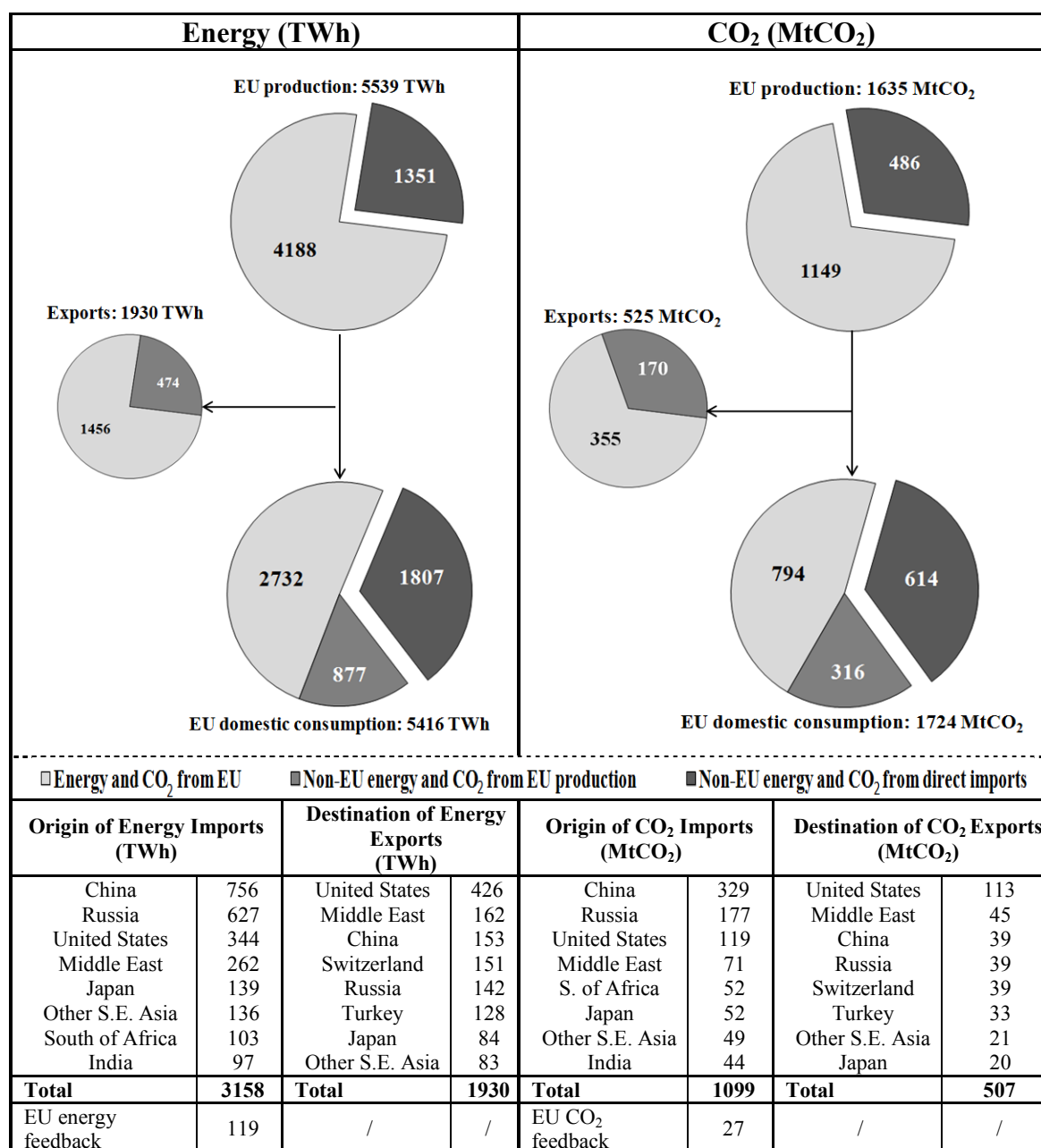
La quantité d'énergie contenue dans les exportations de l'UE est très inférieure à la quantité d'énergie contenue dans les importations. Le solde en énergie grise des pays européens est donc très largement négatif (-1 228 TWh). En conséquence, la consommation d'énergie induite par la consommation non-industrielle de biens manufacturés est supérieure à la quantité d'énergie consommée par l'industrie européenne. Environ 50 % de cette consommation d'énergie est induite en dehors de l'Union européenne. Les résultats pour chacun des pays européens sont présentés dans le tableau 35.

Par rapport au CO<sub>2</sub>, les quantités contenues dans les importations de biens manufacturés (1 099 MtCO<sub>2</sub>) sont presque équivalentes aux quantités émises directement par l'industrie européenne (1 149 MtCO<sub>2</sub>). De même, les émissions induites par la consommation européenne de biens manufacturés sont supérieures de 50 % aux émissions de l'industrie européenne. Le choix d'une comptabilité des émissions de CO<sub>2</sub> par rapport à la consommation de biens manufacturés plutôt qu'à la production peut donc avoir des conséquences majeures sur la responsabilité de l'Union européenne dans les objectifs de réduction des émissions.

De plus, les flux de CO<sub>2</sub> sont répartis de manière similaire à ceux d'énergie, entre les flux provenant de la zone UE et ceux provenant des pays hors-UE. Néanmoins, le contenu en CO<sub>2</sub> des biens manufacturés est plus élevé dans les pays hors-UE que dans ceux de l'UE. Cette disparité provient de différences dans le mix énergétique utilisé dans l'industrie. Notamment, le charbon constitue 14 % de la consommation d'énergie dans l'industrie européenne alors que la part du charbon est de 36 % dans les importations. En conséquence, si les importations de biens manufacturés en Europe continuent de se substituer aux produits domestiques alors les émissions totales de CO<sub>2</sub> peuvent augmenter malgré une consommation constante.

---

<sup>138</sup> L'hypothèse des « échanges uni-directionnels » consiste à considérer que tous les produits importés d'un pays ont été entièrement fabriqués dans ce pays.



**Tableau 34 : Origine de l'énergie et du CO<sub>2</sub> contenus dans la production, la consommation et les exportations de biens manufacturés dans l'industrie européenne en 2005.**

Unités en TWh et en MtCO<sub>2</sub>.

### 3.2.2.2) LA DEPENDANCE DE L'INDUSTRIE A L'ENERGIE : UN PROBLEME D'AMPLEUR INTERNATIONALE

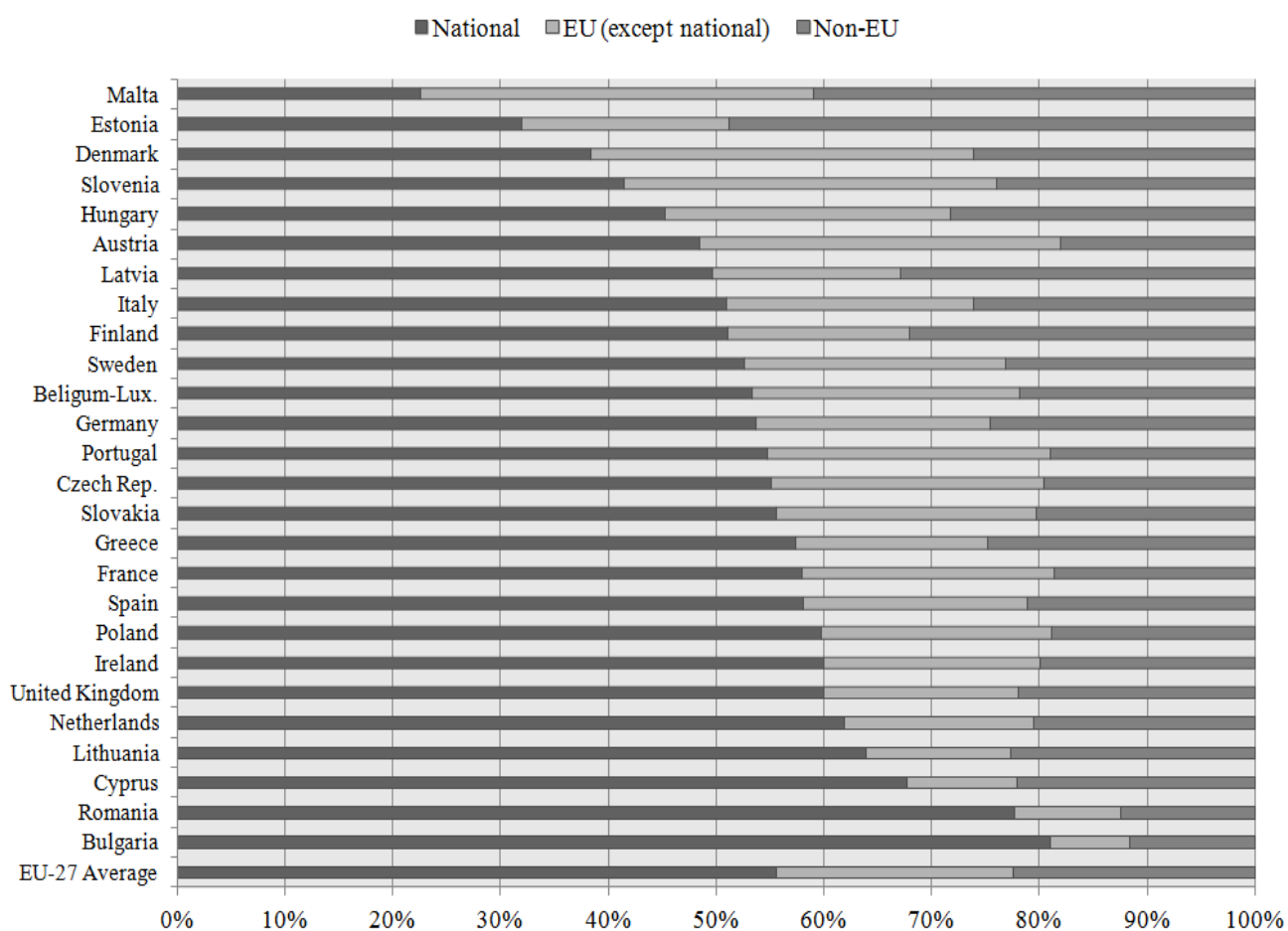
---

Les résultats précédents soulignent qu'une quantité importante d'énergie provenant des pays hors-UE est nécessaire pour la production industrielle européenne. Cette observation est accentuée pour chaque pays européen, si l'énergie grise provenant à la fois des pays hors-UE mais aussi des autres pays de l'UE est prise en compte. La compétitivité des industries nationales n'est pas seulement dépendante des prix domestiques de l'énergie, dépendant de la politique énergétique nationale, de la présence de champions nationaux de l'énergie ou d'accords bilatéraux avec les pays exportateurs d'énergie. La compétitivité de l'industrie manufacturière est également dépendante des prix de l'énergie dans les pays étrangers par l'intermédiaire du prix des biens intermédiaires utilisés dans le processus de production. La description de cette dépendance énergétique selon les pays et les secteurs industriels est présentée dans cette section.

Afin d'analyser cette question de la dépendance internationale de l'industrie aux prix de l'énergie, la quantité d'énergie contenue dans les produits manufacturés a été décomposée en trois parties qui dépendent du pays de consommation de cette énergie par l'industrie. La première partie représente l'énergie qui a été consommée dans le pays de production du bien, directement ou non par le secteur final. Ensuite, on distingue l'énergie consommée dans les autres pays de l'UE et celle consommée dans les pays hors-UE.

La figure 159 décrit l'origine de l'énergie contenue dans une unité de valeur des produits manufacturés de chaque pays européen. Cette répartition est calculée à partir d'une moyenne sur les différentes industries nationales pondérée par la valeur de leur production. Les variations dans les résultats proviennent de différences dans la structure industrielle des pays, d'intensité énergétique des procédés ou de l'importance des échanges commerciaux. Pour la plupart des pays, entre 40 % et 60 % de l'énergie contenue dans un produit a été consommée localement. Ainsi, si on cherche à analyser l'effet des prix de l'énergie sur la compétitivité de l'industrie manufacturière dans son ensemble, seule la moitié de cet effet dépend des prix domestiques de l'énergie. Par exemple, une subvention sur les prix nationaux de l'énergie ne bénéficiera qu'à la moitié des coûts liés à l'énergie dans l'industrie manufacturière.

Ensuite, l'énergie grise consommée à l'intérieur de l'Union européenne (à l'exception du pays étudié) représente en moyenne 22 % de l'énergie contenue dans les produits manufacturés européens. Le reste de l'énergie provient des pays hors-UE. Si la part domestique et la part européenne de l'énergie grise sont considérées ensemble, alors elles représentent en moyenne 78 % de toute l'énergie nécessaire à la production industrielle européenne. Ce constat est en faveur d'une politique énergétique commune aux pays européens, surtout par rapport aux questions de compétitivité de l'industrie. En effet, il semble peu pertinent de vouloir améliorer cette compétitivité liée à l'énergie uniquement par des mesures nationales, car seule la moitié de l'énergie nécessaire à la production industrielle nationale dépend des prix domestiques.



**Figure 159 : Origine de l'énergie contenue dans la production de l'industrie européenne par pays en 2005.**



Dans un second temps, on peut distinguer l'origine de l'énergie contenue dans les produits manufacturés européens pour chaque secteur industriel (Figure 160). Cette fois-ci, la répartition est calculée à partir d'une moyenne sur les pays européens pondérée par la valeur de leur production nationale dans le secteur concerné.

La décomposition de l'origine de l'énergie grise varie fortement selon les secteurs industriels. Les industries grandes consommatrices d'énergie (IGCE), souvent à l'amont de la chaîne de valeur industrielle, sont celles avec la plus grande part d'énergie grise provenant de la consommation nationale. Pour les secteurs suivants : *mines, produits minéraux non-métalliques, chimie de base et papier*, la part d'énergie grise non domestique est inférieure à 30 %. Cette observation modère l'ampleur de la dépendance de la compétitivité industrielle aux prix non domestiques de l'énergie pour ces secteurs. Certains secteurs IGCE possèdent néanmoins une part d'énergie grise non domestique qui est significative, tels que la *sidérurgie* (35 %), les *métaux non-ferreux* (45 %), les *articles en papier et en carton* (46 %) et les *produits en caoutchouc* (57 %). Notamment, pour la sidérurgie et les métaux non-ferreux, cette part d'énergie grise non-domestique provient principalement de la consommation en énergie de l'extraction minière, qui a souvent lieu à l'étranger. Pour les produits en papier et en carton, l'énergie grise non-domestique provient de la pâte à papier, de l'industrie du bois et des produits chimiques nécessaires à la production.

Toutefois, pour une grande partie de l'industrie manufacturière, l'énergie domestique contenue dans les produits représentent moins de 40 % du total. Si l'énergie consommée dans l'UE est également considérée, cette part augmente le plus souvent à plus de 60 %. La compétitivité de ces industries en aval est donc moins directement sensible aux variations des prix de l'énergie que pour les IGCE, mais dépend fortement de l'augmentation du prix des biens intermédiaires nationaux et internationaux. En outre, ces secteurs en aval de la chaîne de production industrielle représentent une grande part de la valeur ajoutée dans l'industrie européenne. Les industries avec une part de l'énergie grise domestique inférieure à 60 % constituent 70 % de la valeur de production industrielle dans l'UE. Notamment, pour des secteurs à forte valeur ajoutée tels que *l'automobile, l'aéronautique et la pharmaceutique*, la part de l'énergie grise domestique dans les produits est très faible. Elle représente moins d'un tiers de l'ensemble de l'énergie contenue. Un autre tiers provient de la consommation d'énergie dans les pays de l'UE et le reste est consommé hors-UE.

En conséquence, la dépendance des industries nationales européennes aux prix de l'énergie est loin d'être un enjeu uniquement domestique. En particulier, il peut être trompeur de ne tenir compte que des prix nationaux de l'énergie pour étudier l'effet d'une variation des prix de l'énergie sur la compétitivité industrielle. Cependant, ce constat est surtout important pour les industries en aval de la chaîne de production industrielle. Il est plus nuancé pour les secteurs en amont, qui sont souvent des IGCE. Les secteurs industriels sont donc interdépendants en Europe, avec d'intenses échanges de biens manufacturés intra-communautaires. Ainsi, pour l'analyse du rôle de l'énergie dans l'ensemble de l'industrie manufacturière, une échelle d'étude uniquement nationale apparaît trop restreinte. L'échelle européenne est plus pertinente.



Figure 160 : Origine de l'énergie contenue dans la production industrielle européenne par secteur en 2005

### 3.2.2.3) DISCUSSION SUR LA PROBLEMATIQUE DE LA RESPONSABILITE DES EMISSIONS DE CO<sub>2</sub>

---

Les flux de CO<sub>2</sub> contenus dans les produits manufacturés, comme ils figurent dans le tableau 34, permettent de déterminer la localisation de la consommation finale qui induit ces émissions de CO<sub>2</sub>. La connaissance de la destination des produits manufacturés, dont la production provoque les émissions de CO<sub>2</sub>, apporte une nouvelle vision des questions de responsabilité environnementale. Une comptabilité des émissions de CO<sub>2</sub>, basée sur les émissions induites par la consommation de biens manufacturés, est alors possible. Cette comptabilité diffère de la comptabilité traditionnelle, basée sur les émissions liées à la production, par la prise en compte des flux commerciaux internationaux. Il existe alors un débat sur la détermination de la responsabilité des émissions de CO<sub>2</sub> entre les producteurs industriels et les consommateurs finaux : quelle est la comptabilité la plus efficace pour réduire les émissions, la plus équitable et également la plus acceptable ?

Cette question a fait l'objet de deux récentes études ayant eu un impact important dans la sphère publique: celles de SJ. Davis, GP. Peters et K. Caldeira (Davis & Caldeira, 2010; Davis et al., 2011). En effet, les négociations actuelles sur une politique environnementale au niveau mondial semblent dans une impasse entre les pays émergents, ne voulant pas ralentir la croissance de leur économie et considérant qu'une large partie de leur production industrielle est exportée vers les pays développés, et ces pays développés, dans une situation économique et financière difficile et ne voulant pas perdre en compétitivité industrielle. En outre, l'impact des échanges entre pays en développement ne doit pas être ignoré car les flux commerciaux entre ces pays sont en augmentation, ex. échanges entre l'Afrique et la Chine (Guan & Reiner, 2009).

Dans ce contexte, il est important de clarifier les causes, les flux et les évolutions des émissions de CO<sub>2</sub> dans le monde. L'approche, basée uniquement sur les émissions directes de la production industrielle, ne semble plus suffisante. « *Parties that extract fossil fuels, parties that burn the fuels to produce goods and services, and parties that consume those goods and services all benefit in some way from the current fossil fuel-driven economy, just as they are all vulnerable in some way to the climate change that results. Understanding how to resolve this dilemma is likely to depend on fully understanding the interests that all these parties have both in maintaining current patterns of energy use and effectively transitioning to new patterns of energy use* » (Davis et al., 2011, p.3).

Les deux études, citées ci-dessus, se basent sur un modèle entrées-sorties multi-régional similaire à celui développé dans cette thèse, mais utilisent uniquement les données de GTAP (forte agrégation sectorielle). Ces travaux identifient également des flux massifs de CO<sub>2</sub> dans les produits manufacturés échangés au niveau international. La Chine et les pays émergents sont exportateurs de CO<sub>2</sub> dans les produits manufacturés, à l'inverse des Etats-Unis, du Japon et de l'Europe de l'Ouest. Ainsi, lorsque le solde d'échange du CO<sub>2</sub> contenu dans les produits manufacturés est pris en compte dans le calcul du ratio des émissions sur le PIB national (intensité en carbone), les écarts entre pays diminuent significativement. En conclusion, les auteurs annoncent « *Apart from the opportunity to inform effective climate policy, therefore, consumption-based accounting of emissions provides grounding for ethical arguments that the most developed countries – as the primary beneficiaries of emissions and with greater ability to pay – should lead the global mitigation effort* » (Davis & Caldeira, 2010, p.5691). Dans leur seconde étude, les auteurs démontrent qu'il semble plus efficace de taxer le contenu en CO<sub>2</sub> directement à la source de l'énergie, c'est-à-dire chez les producteurs et extracteurs d'énergie et non pas au niveau des consommateurs d'énergie ou de biens manufacturés. Cela

permettrait de réduire les coûts de transaction et les problèmes de négociation car ces producteurs énergétiques sont concentrés dans certains pays, réduisant ainsi le nombre d'acteurs en jeu. L'avantage serait aussi de réduire les fuites de carbones car la hausse des prix de l'énergie affecterait toutes les industries mondiales (Davis et al., 2011).

Les travaux de cette thèse sur l'énergie grise confirment les résultats de ces études par la mise en évidence des flux majeurs de CO<sub>2</sub> induit par la consommation de produits manufacturés en Europe. L'avantage de ces travaux est d'obtenir une plus grande précision sur les flux de CO<sub>2</sub> dans l'industrie européenne. La consommation finale de produits manufacturés de l'économie européenne (hors émissions d'usages<sup>139</sup>) induit des émissions bien plus élevées que celles liées à la production de l'industrie, soit 1 724 MtCO<sub>2</sub> au lieu de 1 150 MtCO<sub>2</sub>. Le solde net du CO<sub>2</sub> contenu dans les produits manufacturés, importés et exportés, est donc fortement négatif de -619 MtCO<sub>2</sub>, soit l'équivalent de plus de la moitié des émissions de l'industrie européenne. Ces chiffres indiquent l'importance majeure pour l'économie européenne du choix de la comptabilité des émissions de CO<sub>2</sub>. Changer de système de comptabilité reviendrait alors à augmenter les coûts d'une potentielle contrainte environnementale sur le CO<sub>2</sub> de 50 % pour l'Union européenne.

Le tableau 35 introduit la valeur des flux d'énergie et de CO<sub>2</sub> contenus dans les produits manufacturés pour chaque pays européens ainsi que le solde net des échanges. Le constat précédent pour l'UE couvre des situations très contrastées selon les pays européens. Notamment, quatre pays exportent plus de CO<sub>2</sub> dans les produits manufacturés qu'ils n'en importent : la République tchèque, l'Irlande, la Slovaquie et la Roumanie. A l'inverse de l'UE dans son ensemble, les émissions liées à la consommation de biens manufacturés dans ces pays sont inférieures aux émissions directes de leur industrie.

Ensuite, le Royaume-Uni ainsi que la France sont les deux pays européens avec le solde négatif d'échange de CO<sub>2</sub> le plus important, respectivement de -133 MtCO<sub>2</sub> et de -114MtCO<sub>2</sub> en 2005. Ces montants constituent environ 115 % des émissions de CO<sub>2</sub> des industries nationales de ces deux pays. A l'opposé, l'Allemagne, la Finlande, l'Italie et l'Espagne possèdent également chacun un solde négatif, mais celui-ci est bien plus modéré relativement aux émissions nationales (<50 %). L'ampleur de ces soldes permet d'estimer si l'économie d'un pays repose sur des émissions à l'étranger.

En ne considérant que les flux internes à l'UE, on remarque que les Pays-Bas et l'Allemagne possèdent alors un bilan très positif pour le CO<sub>2</sub> contenu dans les produits manufacturés, de respectivement 50 MtCO<sub>2</sub> et 37 MtCO<sub>2</sub>. C'est d'ailleurs les échanges avec les pays européens qui permettent à ces deux pays de diminuer leur solde négatif global. A l'inverse, la France possède un solde net fortement négatif avec les pays européens (-46 MtCO<sub>2</sub>), soit 40 % de son solde net global. Il existe donc également des situations très contrastées dans les seuls échanges entre pays européens. La problématique de la comptabilité des émissions de CO<sub>2</sub> peut également avoir des enjeux au sein de l'Union européenne.

Ces cas précis soulèvent des interrogations sur la signification d'une comptabilité environnementale liée aux émissions de CO<sub>2</sub> induites par les consommations finales de produits manufacturés. Notamment, en se limitant aux échanges intra-européens, la France apparaît comme importatrice nette de CO<sub>2</sub>. Mais peut-on pour autant considérer que la responsabilité de la France dans les émissions de CO<sub>2</sub> est plus grande ? En effet, il semble que ce déficit intra-européen pour la France soit surtout la conséquence d'un très faible contenu en CO<sub>2</sub> de l'électricité française. On retrouve d'ailleurs une

<sup>139</sup> Les émissions d'usages représentent les émissions de CO<sub>2</sub> liées à l'utilisation de ces biens manufacturés.

situation similaire pour la Suède. Il semble alors contradictoire d'augmenter la responsabilité environnementale de certains pays en utilisant une comptabilité des émissions liée à la consommation finale, alors que ceux-ci utilisent des procédés industriels émettant moins de CO<sub>2</sub>. Ce même phénomène se retrouve entre la zone européenne et l'Asie. Ainsi, lorsque SJ. Davis et K. Caldeira annoncent en conclusion de leur étude que « *In terms of global equity, the prosperity of developed countries was not only founded on two centuries of fossil fuel emissions, but also in some cases is now being maintained by emissions produced in developing countries* » (Davis & Caldeira, 2010, p.5691), ces auteurs ne semblent pas tenir compte qu'une partie significative des soldes négatifs en CO<sub>2</sub> des pays développés est simplement la conséquence d'une meilleure efficacité énergétique dans l'industrie.

Pour des flux d'échanges de biens manufacturés de valeurs égales entre deux pays, le pays avec la plus faible intensité énergétique possède alors une balance négative par rapport aux flux de CO<sub>2</sub>. Il est cependant paradoxal de vouloir pénaliser ce pays en le tenant pour responsable de ce solde net. Une telle comptabilité pourrait alors décourager l'utilisation de procédés industriels moins polluants. C'est pourtant ce qui est proposé avec une comptabilité liée à la consommation finale : « *Thus, to the extent that constraints on emissions in developing countries are the major impediment to effective international climate policy, allocating responsibility for some portion of these emissions to final consumers elsewhere may represent an opportunity for compromise. Because economic welfare in a region benefits from the production of goods within its territory, there are quantitative approaches aimed at sharing responsibility for emissions among producers and consumers* » (Davis & Caldeira, 2010, p.5690).

La question de la responsabilité environnementale n'apparaît pas clairement avec cette nouvelle comptabilité, comme semble le proposer la littérature précédente sur le sujet. Il est nécessaire de développer des méthodes plus précises de décomposition de ces flux de CO<sub>2</sub>, afin de déterminer s'ils sont liés à un déséquilibre des flux commerciaux ou à une différence d'intensité énergétique. Pour ce type d'études, un modèle entrées-sorties précis au niveau des secteurs industriels est nécessaire. On ne peut pas comparer l'intensité énergétique d'une industrie chimique fortement orientée vers la pharmaceutique et la parachimie (ex. Suisse) avec celle d'un pays produisant massivement de la chimie de base (ex. Moyen-Orient). L'objectif serait alors d'étendre la nomenclature détaillée de l'industrie européenne, utilisée dans cette étude, au reste du monde.

	Energy Import (TWh)	Energy Import from EU Trade (TWh)	Of which energy consumed in EU (TWh)	Energy Export (TWh)	Energy Export to EU (TWh)	Energy Balance (TWh)	Energy Balance with EU (TWh)	Industry Energy Use (TWh)	CO <sub>2</sub> Import (MtCO <sub>2</sub> )	CO <sub>2</sub> Import from EU Trade (MtCO <sub>2</sub> )	Of which CO <sub>2</sub> emitted in EU (MtCO <sub>2</sub> )	CO <sub>2</sub> Export (MtCO <sub>2</sub> )	CO <sub>2</sub> Export to EU (MtCO <sub>2</sub> )	CO <sub>2</sub> Balance (MtCO <sub>2</sub> )	CO <sub>2</sub> Balance with EU (MtCO <sub>2</sub> )	Industry CO <sub>2</sub> Emissions (MtCO <sub>2</sub> )
Austria	194	142	109	154	112	-40	-30	83	57	39	28	40	29	-17	-10	22
Belgium-Lux.	683	401	322	581	439	-102	38	212	193	97	71	132	100	-61	3	46
Bulgaria	39	16	13	38	22	-1	6	34	12	4	3	12	7	0	3	11
Cyprus	18	6	5	3	2	-15	-4	4	6	2	1	1	1	-5	-1	2
Czech Rep.	154	105	82	179	148	25	43	122	46	29	21	51	42	5	13	34
Denmark	132	84	65	73	49	-59	-35	30	38	22	15	19	13	-19	-9	10
Estonia	26	10	8	18	13	-8	3	6	7	3	2	6	4	-1	1	3
Finland	128	57	44	140	89	12	32	84	36	15	10	35	22	-1	7	20
France	824	513	401	624	430	-200	-83	513	246	136	98	132	90	-114	-46	95
Germany	1403	802	644	1393	911	-10	109	837	416	205	150	369	242	-47	37	231
Greece	102	53	42	30	19	-72	-34	43	30	14	10	12	8	-18	-6	23
Hungary	114	72	55	106	82	-8	10	55	34	19	14	27	22	-7	3	13
Ireland	118	68	53	132	71	14	3	77	36	18	13	40	22	4	4	28
Italy	765	413	337	510	313	-255	-100	522	222	103	76	145	88	-77	-15	163
Latvia	21	10	7	14	9	-7	-1	6	6	3	2	4	2	-2	-1	1
Lithuania	35	17	13	14	9	-21	-8	14	10	5	3	4	2	-6	-3	3
Malta	11	4	3	2	1	-9	-3	0	3	1	1	1	1	-2	0	0
Netherlands	599	274	222	640	503	41	229	275	177	67	49	150	117	-27	50	53
Poland	223	135	108	177	135	-46	0	168	63	34	25	60	45	-3	11	68
Portugal	108	74	58	72	59	-36	-15	65	30	19	14	19	15	-11	-4	21
Romania	80	43	35	75	36	-5	-7	73	24	12	9	23	11	-1	-1	24
Slovakia	68	46	37	79	67	11	21	59	20	13	10	22	19	2	6	17
Slovenia	43	30	24	39	27	-4	-3	18	12	8	6	11	8	-1	0	6
Spain	524	305	238	350	244	-174	-61	382	154	78	55	94	66	-60	-12	119
Sweden	193	125	95	185	118	-8	-7	113	54	34	23	36	22	-18	-12	17
United Kingdom	887	408	314	516	308	-371	-100	394	277	105	72	144	84	-133	-21	118
EU-27	3277	/	/	1930	/	-1347	/	4188	1126	/	/	507	/	-619	/	1149

Tableau 35 : Flux d'énergie et de CO<sub>2</sub> dans les produits manufacturés des pays européens en 2005

### 3.2.3) CONCLUSION SUR LE BILAN GLOBAL DE L'ÉNERGIE ET DU CO<sub>2</sub> CONTENUS DANS LES PRODUITS MANUFACTURÉS

La construction du modèle TES pour les industries européenne et mondiale permet d'établir un nouveau bilan global, par secteurs et par pays, des flux d'énergie et de CO<sub>2</sub>. A la vision traditionnelle, sur les consommations directes d'énergie et les émissions de CO<sub>2</sub> des industriels, s'ajoute la compréhension des flux d'énergie et de CO<sub>2</sub> contenus dans les produits manufacturés échangés dans le monde sous la forme soit de biens intermédiaires, soit de produits finis. L'apport de cette nouvelle approche complémentaire apparaît essentiel, suite à l'examen des quantités en jeu. Notamment, l'énergie contenue dans les produits manufacturés importés vers l'UE (3 160 TWh), en 2005, équivaut à environ 75 % de la consommation totale d'énergie de l'industrie européenne. De même, le CO<sub>2</sub> contenu dans ces importations, c'est-à-dire le CO<sub>2</sub> émis durant la production de ces biens, équivaut à l'ensemble des émissions de l'industrie européenne (1 100 MtCO<sub>2</sub>).

Au niveau mondial, les flux d'énergie et de CO<sub>2</sub> contenus dans les produits manufacturés sont déséquilibrés entre les principales régions géographiques. L'Asie, surtout la Chine, et l'ancien bloc soviétique exportent de grandes quantités d'énergie et de CO<sub>2</sub> par l'intermédiaire des échanges commerciaux. A l'opposé, l'Europe et l'Amérique du Nord importent beaucoup plus de cette énergie et de ce CO<sub>2</sub> qu'ils n'en exportent. Les flux vers les autres régions demeurent modérés. Au niveau de la France, le solde national est fortement négatif pour les échanges d'énergie et de CO<sub>2</sub> contenus dans les produits manufacturés. En 2005, 824 TWh d'énergie ont été importés alors que 624 TWh ont été exportés. A titre de comparaison, l'industrie manufacturière française a consommé 513 TWh en 2005.

L'origine de ces flux vers la France peut être analysée de deux manières : soit en considérant le pays exportateur des biens manufacturés contenant cette énergie, soit en regardant le pays où a été consommée cette énergie. Les écarts significatifs entre ces deux méthodes démontrent l'intégration importante de l'industrie européenne dans l'industrie mondiale du point de vue énergétique. En outre, les résultats sur l'énergie grise démontrent que l'industrie française n'est pas seulement dépendante des prix de l'énergie en France mais également de ceux en Chine, en Allemagne et en Russie.

Cela soulève donc la question de la dépendance énergétique de l'industrie non seulement aux prix domestiques de l'énergie mais également aux prix à l'étranger. La décomposition de l'énergie contenue dans les biens manufacturés permet d'identifier l'énergie provenant d'une consommation sur le territoire nationale, dans l'Union européenne ou hors-UE. Il en résulte que seulement 40 % à 60 % de l'énergie grise provient du pays producteur. Cette part s'élève à 75 % pour toute l'UE. En conséquence, la dépendance des industries nationales européennes aux prix de l'énergie est loin d'être un enjeu uniquement national. L'échelle européenne est bien plus pertinente pour l'étude des problématiques de l'énergie dans l'industrie.

Si on analyse la répartition selon les secteurs industriels, les secteurs en amont de la chaîne de valeur, souvent les IGCE, possèdent une part d'énergie domestique plus importante. A l'opposé, l'énergie contenue dans les produits des industries à forte valeur ajoutée, comme l'automobile ou l'aéronautique, provient à un tiers du pays producteur, à un tiers de l'UE et pour le dernier tiers des pays hors-UE. Pour les secteurs en aval de la chaîne de production industrielle, la dépendance aux prix de l'énergie est internationale. Cela reflète également la forte interdépendance des secteurs industriels en Europe, avec de nombreux échanges de biens intermédiaires intra-communautaires.



Enfin, les résultats du modèle TES sur les flux l'énergie et le CO<sub>2</sub> dans les produits manufacturés permettent d'éclairer quantitativement les débats actuels sur la responsabilité des émissions de CO<sub>2</sub> entre les pays émetteurs et les pays consommateurs de produits manufacturés. Notamment, l'étude permet de relier la consommation de produits manufacturés aux émissions de CO<sub>2</sub>. Cependant, la notion de responsabilité environnementale est ambiguë avec cette nouvelle forme de comptabilité des émissions. En effet, les flux de CO<sub>2</sub> dans les produits manufacturés résultent à la fois de déséquilibres dans les échanges commerciaux et des différences d'intensité énergétique. Une nouvelle méthode décomposant ces deux effets, basée sur une nomenclature précise des secteurs industriels, est donc nécessaire pour réellement répondre à la question de la responsabilité environnementale.

### **3.3) APPLICATIONS : DEMANDE ENERGETIQUE ET TAXE CARBONE**

Dans la partie précédente, l'analyse des résultats du modèle MRIO s'appuie sur les valeurs « brutes » de l'énergie grise. Dans cette partie, les résultats sont insérés dans des calculs plus élaborés. Les résultats de l'énergie grise comportent une valeur informative en soi mais constituent aussi une base de données pour de nouvelles applications économiques des données énergétiques.

Deux applications particulières sont présentées ici : la première utilise les données sur l'énergie grise afin de prévoir l'impact d'un changement structurel dans l'industrie sur la demande en énergie et la seconde estime les effets distributifs d'une taxe carbone européenne sur les pays et les secteurs industriels. La principale contribution de ces deux études est d'intégrer les interdépendances énergétiques entre plus de 1950 secteurs industriels dans le monde.

#### **3.3.1) IMPACT D'UN CHANGEMENT STRUCTUREL DE L'INDUSTRIE SUR LA DEMANDE EN ENERGIE**

Le principe de cette application est d'estimer, à partir des résultats sur l'énergie grise, l'effet de la variation de la production d'un ou de plusieurs secteurs industriels sur la consommation d'énergie de l'industrie dans son ensemble. Ainsi, si un secteur industriel augmente ou diminue sa production, cela a des répercussions sur toute la chaîne de production en amont. Une industrie n'évolue pas en isolation.

L'objectif est de pouvoir estimer l'effet sur la consommation d'énergie de l'évolution de la structure industrielle en tenant compte des interdépendances entre industries et pays. Par exemple, si le secteur de l'assemblage automobile diminue sa production, alors il est très probable que les fournisseurs d'équipements automobiles diminuent également leur production et donc leur consommation d'énergie. De même, les secteurs fournisseurs des producteurs d'équipements automobiles sont ensuite affectés. Cette application constitue donc un outil d'estimation de l'évolution de la demande énergétique suite à un changement dans la structure de l'industrie. Cela permet notamment aux producteurs d'énergie de pouvoir ajuster les capacités de production en conséquence et de mieux identifier le comportement des secteurs industriels sur plusieurs pays.

Deux scénarios sont introduits afin d'illustrer le fonctionnement de ce type d'application. Chacun de ces scénarios décrit l'évolution de la production dans un secteur en aval de la chaîne industrielle : l'aéronautique et l'automobile. Dans le premier cas, on suppose que la production du secteur aéronautique augmente de 10 % en France, en Allemagne, au Royaume-Uni et en Espagne, c'est-à-dire dans les pays où sont localisés les principaux sites de production de la société Airbus. Ce scénario est envisageable, par exemple, dans le cas d'une hausse des commandes d'avions pour Airbus. On peut alors estimer l'impact de cette croissance de l'activité sur la consommation d'énergie non seulement du secteur de l'aéronautique mais aussi de toutes les industries fournissant ce secteur.

Dans le second scénario, plus pessimiste, une transition de la construction automobile d'Europe de l'Ouest vers l'Europe de l'Est est supposée. Les fermetures de sites de production en Europe de l'Ouest (ex. PSA) et l'essor de cette industrie dans les pays d'Europe de l'Est rendent ce scénario

crédible. On considère alors une baisse de 20 % de la valeur de production dans le secteur de la construction automobile dans les pays suivants :

- France
- Allemagne
- Royaume-Uni
- Belgique/Luxembourg
- Espagne
- Italie
- Portugal
- Pays-Bas

L'hypothèse est que toute cette production est alors relocalisée dans les pays d'Europe de l'Est. La répartition entre les pays de l'Est est proportionnelle à la répartition antérieure de la construction automobile dans ces pays. Les pays inclus, connaissant une forte hausse de la production automobile, sont alors les suivants :

- Slovaquie
- Tchéquie Rép.
- Pologne
- Hongrie
- Slovénie
- Roumanie
- Bulgarie
- Lituanie

#### 3.3.1.1) METHODES ET HYPOTHESES

---

L'estimation de l'évolution de la consommation industrielle d'énergie, suite à un changement dans la production d'un secteur, repose sur le calcul de l'énergie contenue dans les produits manufacturés. A partir de la connaissance du lieu et du secteur de consommation de cette énergie grise, il est possible d'identifier la consommation d'énergie nécessaire à la production des biens intermédiaires utilisés dans le secteur analysé. Dans l'analyse de l'effet sur la consommation d'énergie de l'évolution d'un secteur, celui-ci n'est donc plus uniquement considéré en isolation du reste de l'industrie manufacturière. Les relations industrielles et énergétiques entre les secteurs et les pays sont prises en compte.

Toutefois, une hypothèse importante est nécessaire pour réaliser cette estimation de l'évolution de la consommation d'énergie. En effet, il est supposé que la fonction de production des différentes industries demeure constante. Par exemple, si la production automobile diminue, la proportion de biens intermédiaires nécessaires pour le reste de la production, par unité de production, reste la même. En outre, si un quart de l'acier consommé dans la production automobile provient d'Allemagne, alors cette part reste la même par la suite, malgré le changement du niveau de production. Les relations entre secteurs et entre pays sont supposées stables.

Pour ce calcul, la possibilité de décomposer l'origine de l'énergie contenue dans les produits manufacturés permet de quantifier précisément l'évolution de la consommation d'énergie sur trois niveaux :

- Le type d'énergie : produits pétroliers, gaz, électricité, charbon
- Le secteur industriel<sup>140</sup>
- Le pays

D'un point de vue mathématique, le calcul de la variation de consommation d'énergie dans chaque secteur s'appuie sur la formulation suivante. Dans celle-ci,  $\mathbf{P}$  représente un vecteur colonne décrivant la valeur de production de chaque secteur dans chaque pays. Le différentiel de production  $\Delta \mathbf{P}$  constitue l'écart entre le scénario de production analysé,  $\mathbf{P}_1$ , et la situation initiale,  $\mathbf{P}_0$  :

$$\Delta \mathbf{P} = \mathbf{P}_1 - \mathbf{P}_0 \quad (44)$$

On calcule alors le vecteur ligne  $\Delta \mathbf{E}_e$ , représentant l'évolution totale de la consommation d'énergie pour tous les secteurs dans chaque pays et pour chaque type d'énergie, de la façon suivante :

$$\Delta \mathbf{E}_e = {}^t(\Delta \mathbf{P}) * \mathbf{E}_e \quad (45)$$

Dans ce résultat matriciel, les effets de plusieurs changements peuvent se combiner, voire avoir des effets contraires. Il est alors possible de décomposer ces effets en calculant plusieurs matrices  $\Delta \mathbf{E}_e$  selon chaque évolution structurelle. En effet, les calculs étant linéaires, les résultats peuvent s'additionner.

### 3.3.1.2) PRINCIPAUX RESULTATS SUR L'EVOLUTION DE LA CONSOMMATION D'ENERGIE

#### i. Premier scénario : croissance de la production aéronautique

Dans ce premier scénario, on suppose que la hausse de la production du secteur aéronautique est de 10 % dans les pays suivants : France, Allemagne, Royaume-Uni et Espagne. Les secteurs et les pays dans lesquels la hausse de la consommation d'énergie sera la plus élevée du fait de cette croissance de la production aéronautique sont d'abord analysés (Figure 161). Dans cette estimation, l'impact de l'augmentation de la production dans chaque pays est décomposé. Tous les pays et les régions du monde sont inclus, UE et hors-UE. Néanmoins, pour les pays hors-UE, la nomenclature des secteurs industriels est plus agrégée. Les secteurs de ces pays ont donc artificiellement une augmentation plus importante de leur consommation car ils regroupent plusieurs sous-secteurs.

Le premier constat est que l'augmentation de la consommation d'énergie a surtout lieu dans trois secteurs : la construction aéronautique, la sidérurgie et la chimie. Cette augmentation de la consommation a autant lieu dans le secteur de l'aéronautique que dans la sidérurgie et dans la chimie, situées en amont de la chaîne de production industrielle.

<sup>140</sup> Pour rappel, la nomenclature industrielle utilisée pour les pays européens est plus détaillée que celle pour les pays hors-UE.

Le second constat est qu'une hausse de la production aéronautique en Europe de l'Ouest implique une augmentation de la consommation d'énergie dans les pays européens (+3.7 TWh) comparable à celle dans les pays hors-UE (+2.9 TWh). Par exemple, la sidérurgie russe est le troisième secteur avec la plus forte augmentation de consommation d'énergie (265 MWh), devant la sidérurgie allemande. Cet effet est la conséquence à la fois de l'importance de l'utilisation de l'acier russe dans la production européenne et de la forte intensité énergétique de cette industrie en Russie. La Russie, la Chine et les Etats-Unis sont les pays, hors-UE, les plus dépendants d'une évolution de la production aéronautique en Europe. On retrouve aussi des localisations plus indirectes, comme la chimie au Moyen-Orient ou en Asie du Sud-Est et la sidérurgie au Japon. Ces résultats proviennent de la forte intégration de l'industrie manufacturière au niveau mondial.

Par la suite, il est intéressant d'analyser la répartition de la hausse de consommation d'énergie par type d'énergie selon les secteurs industriels. Cette décomposition fournit une idée précise des secteurs inclus dans la chaîne de production de l'aéronautique d'un point de vue énergétique. Les figures 162 à 165 présentent cette répartition pour chaque type d'énergie utilisé dans le modèle TES. Seuls les pays européens sont pris en compte dans cette analyse, car la nomenclature est différente pour les pays hors-UE.

Dans un premier temps, l'augmentation de la consommation d'énergie va surtout affecter l'électricité et le gaz, avec respectivement une augmentation de 1.2 TWh et 1.1 TWh en UE. L'augmentation de la consommation de charbon et de produits pétroliers est équivalente à la moitié de ces quantités, soit 0.7 TWh pour chacun de ces deux types d'énergie. Ces deux formes d'énergie se distinguent d'ailleurs par le fait qu'un seul secteur regroupe la majorité de la hausse de consommation : la chimie de base pour les produits pétroliers (70 %) et la sidérurgie pour le charbon (92 %). Au contraire, pour l'électricité et le gaz, la répartition est plus variée, avec notamment la présence dominante du secteur en transition, l'aéronautique (40 %). On retrouve encore la sidérurgie et la chimie de base dans les consommations de gaz et d'électricité. Néanmoins, d'autres secteurs apparaissent aussi comme les métaux non-ferreux (aluminium), le travail des métaux, les produits plastiques, le verre, le papier et les produits métalliques.

Enfin, le dernier graphique se concentre sur la consommation d'énergie en France, tous secteurs confondus (Figure 166). L'évolution de cette consommation en France est répartie entre d'une part l'aéronautique et d'autre part les autres secteurs industriels français. Cependant, la hausse de la consommation d'énergie dans les autres secteurs industriels est, à son tour, répartie entre la hausse provoquée par l'augmentation de la production aéronautique en France et celle provoquée par l'augmentation de l'activité dans les autres pays européens. En effet, une partie des producteurs de biens intermédiaires français exportent leurs produits vers les autres secteurs aéronautiques européens.

Si on n'avait considéré que l'évolution de la consommation d'énergie dans le secteur aéronautique, on aurait alors estimé une hausse totale de la consommation en France de 392 MWh. La prise en compte de l'énergie grise dans la prévision de consommation d'énergie, permet de corriger ce résultat à 1 070 MWh, une quantité 2.7 fois supérieure. L'augmentation de la production aéronautique induit une hausse de la production de biens intermédiaires, et donc de la consommation d'énergie dans les secteurs en amont. Il est donc essentiel de prévoir l'évolution de la consommation dans l'industrie dans son ensemble, et non seulement dans un secteur en isolation. Il est également important de voir que l'évolution de l'industrie dans les pays étrangers peut aussi induire des hausses de consommation significatives en France, d'environ 120 MWh.

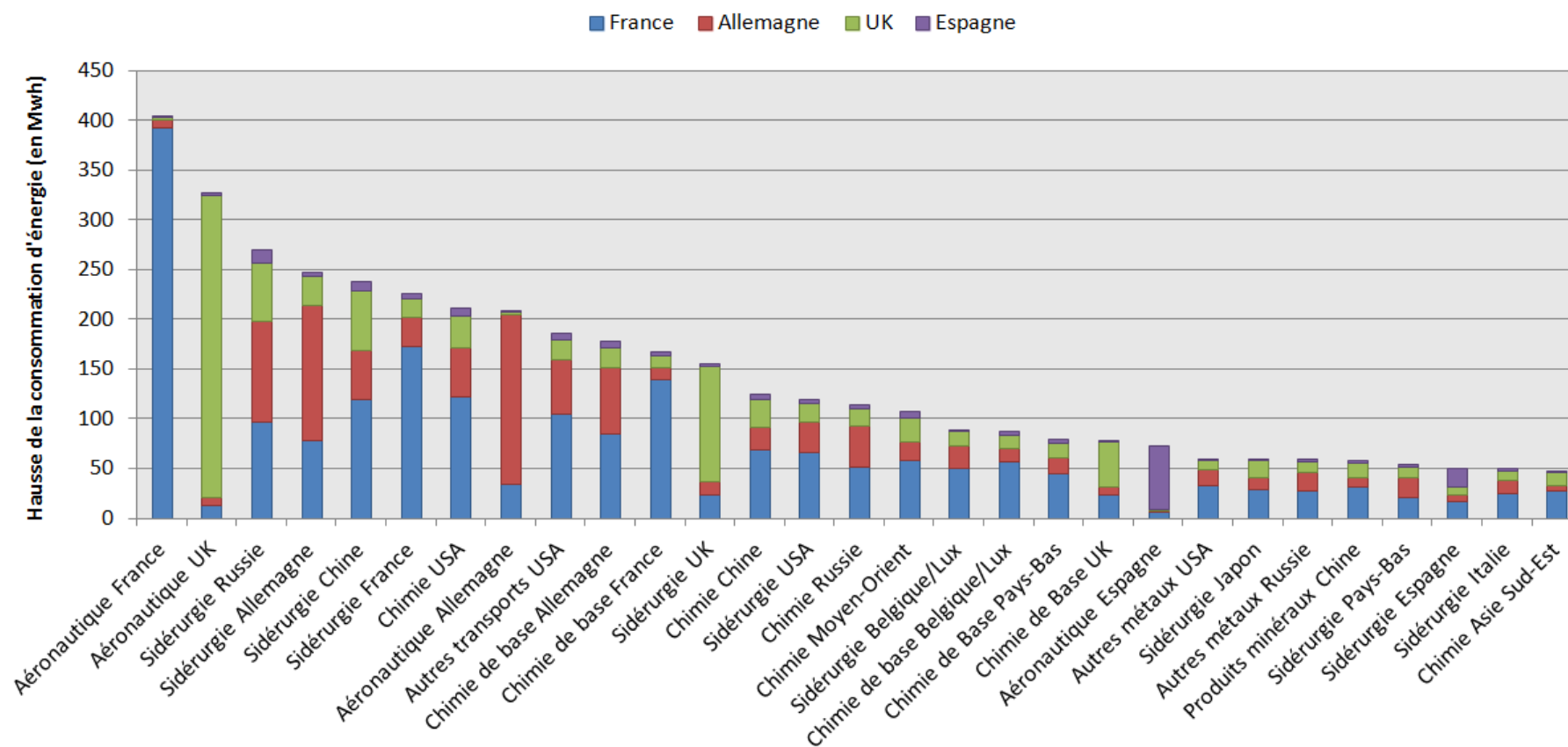


Figure 161 : Estimation de la hausse de la consommation d'énergie par secteur et par pays, selon la localisation de la hausse de 10 % de la production aéronautique.

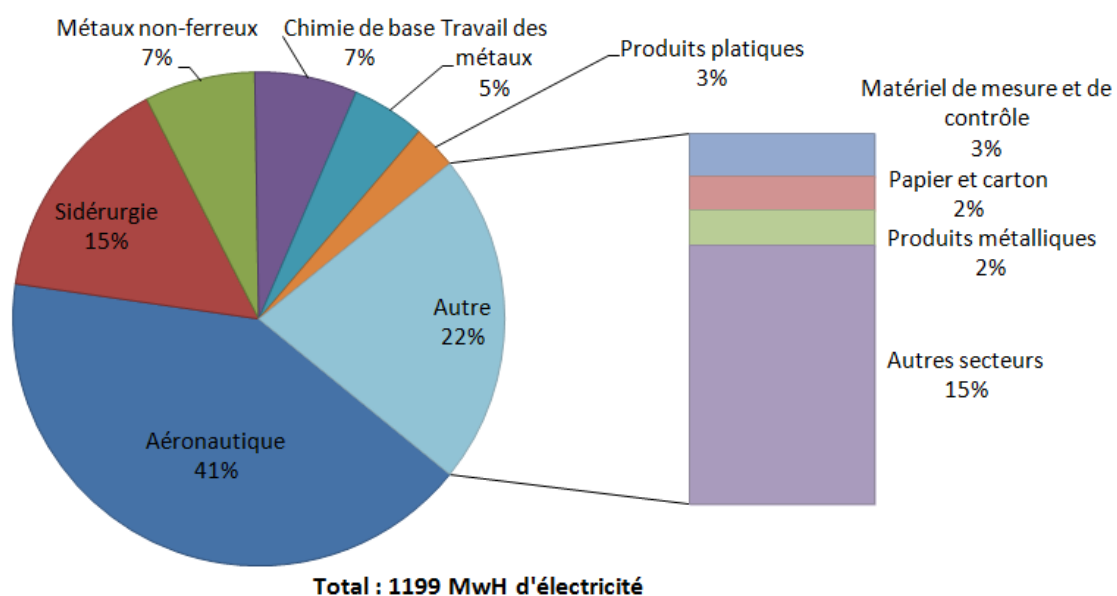


Figure 162 : Répartition par secteur dans l'Union européenne de la hausse de consommation de l'électricité

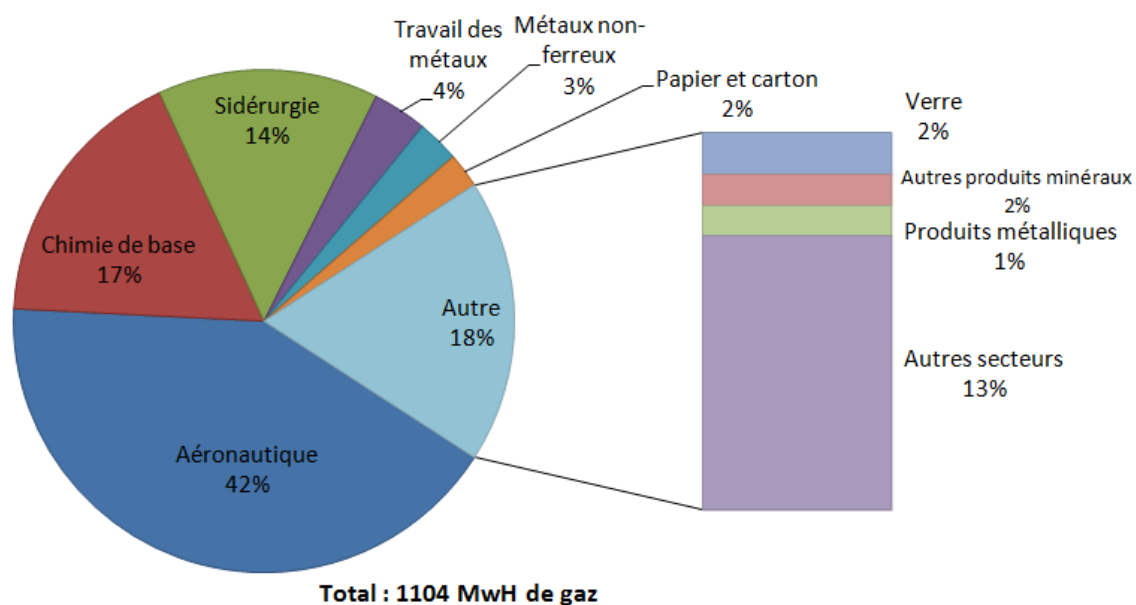


Figure 163 : Répartition par secteur dans l'Union européenne de la hausse de consommation de gaz



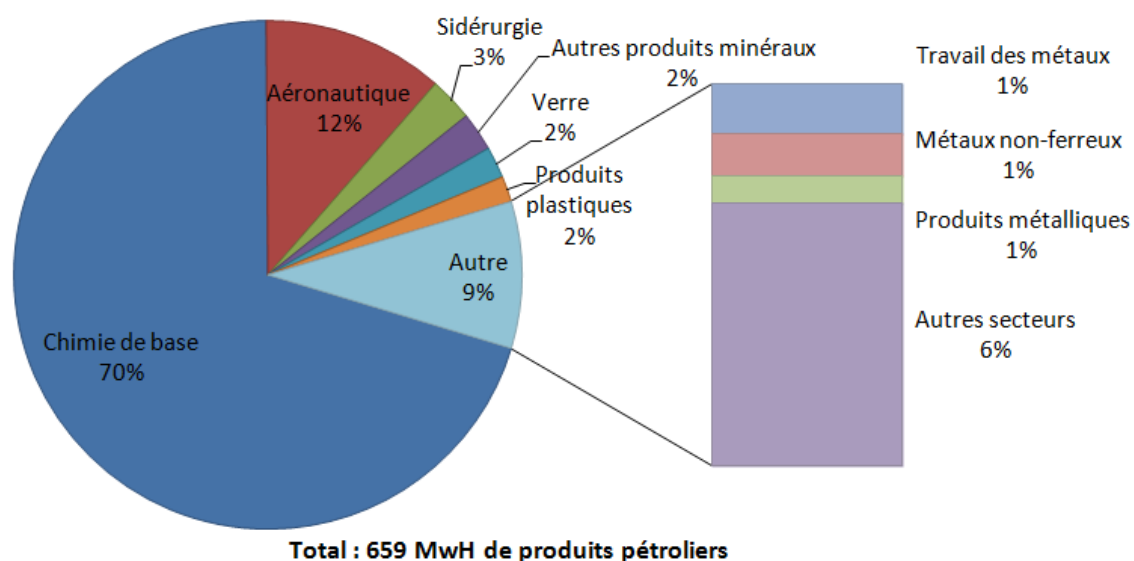


Figure 164 : Répartition par secteur dans l'Union européenne de la hausse de consommation de produits pétroliers

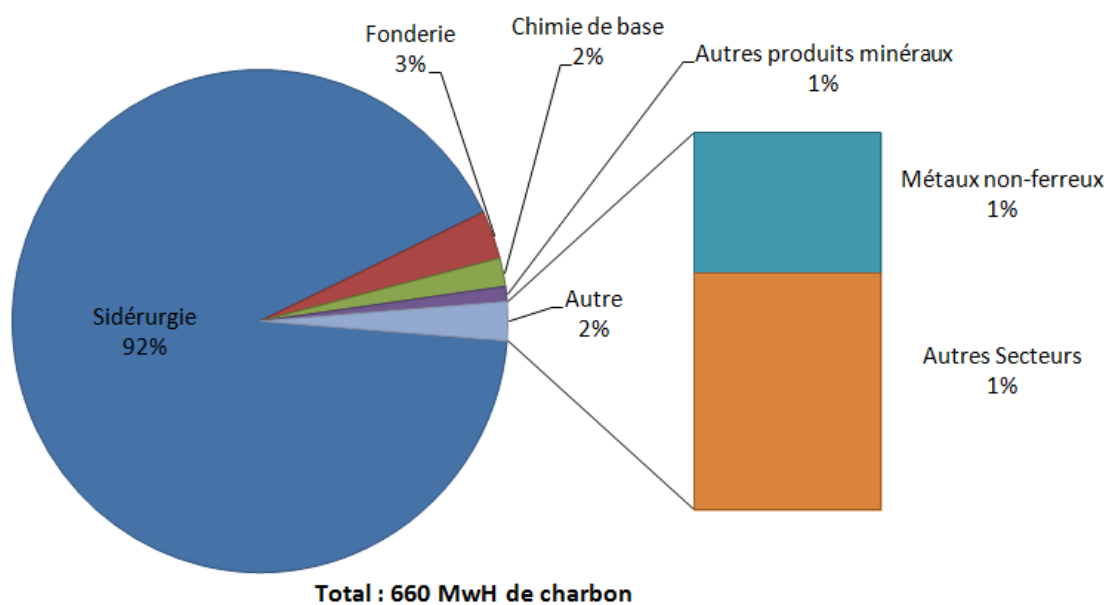
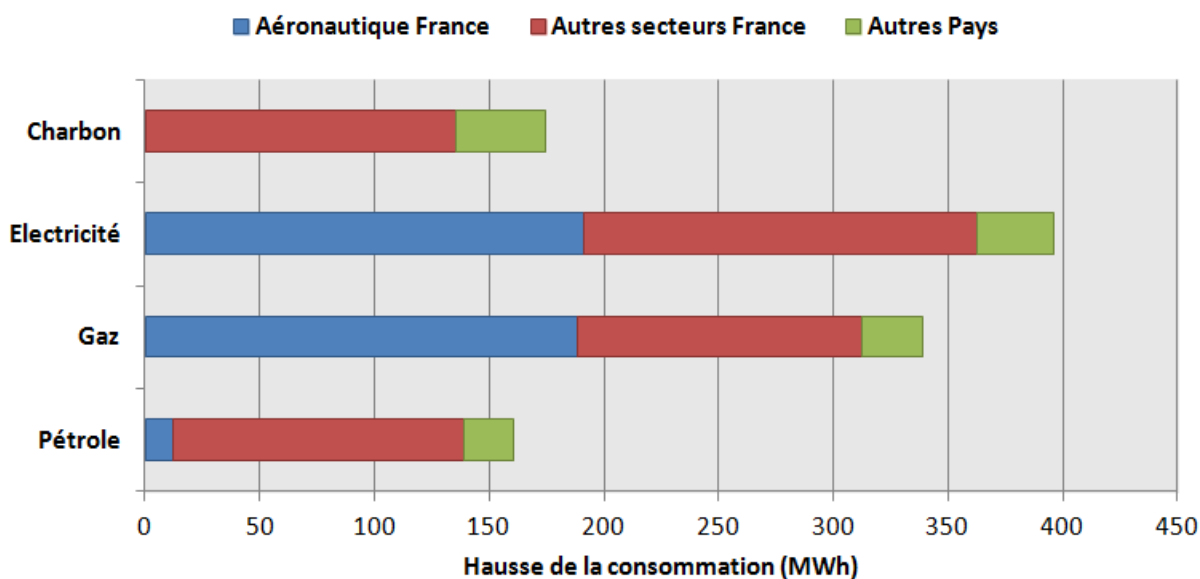


Figure 165 : Répartition par secteur dans l'Union européenne de la hausse de consommation de charbon



**Figure 166 : Hausse de la consommation d'énergie en France, tous secteurs confondus, selon la localisation de la croissance de la production aéronautique.**

## ii. Second scénario : relocalisation de la production automobile

Le second scénario décrit une situation différente du premier scénario, dans le sens où ce n'est pas une simple augmentation ou diminution de la production industrielle qui est supposée, mais un déplacement géographique de la production. Pour rappel, on suppose que 20 % de la construction automobile dans chacun des pays d'Europe de l'Ouest est relocalisée en Europe de l'Est.

Dans un premier temps, l'évolution de la consommation d'énergie est comparée entre les pays européens<sup>141</sup> (Figure 167). De plus, l'évolution de la consommation est décomposée selon le type d'énergie. Les barres horizontales indiquent la variation de la production automobile en valeur pour chaque pays. La baisse de production automobile est la plus importante en Allemagne et en France, alors qu'elle augmente le plus en Pologne, en Hongrie et en République tchèque.

Une baisse de la consommation d'énergie est logiquement prévue dans les pays d'Europe de l'Ouest, au contraire des pays d'Europe de l'Est. Néanmoins, malgré une production automobile constante en valeur<sup>142</sup>, la relocalisation de la production automobile vers l'Europe de l'Est entraîne une hausse de 12 TWh de la consommation d'énergie mondiale (Figure 168), soit une augmentation de 13 % de l'énergie nécessaire à cette production en Europe de l'Ouest. Ce résultat provient à la fois d'une plus faible efficacité énergétique du système industriel en Europe de l'Est, mais également d'une plus faible efficacité productive, plus de biens intermédiaires sont nécessaires pour la même production. Le même constat est obtenu avec les émissions de CO<sub>2</sub>.

Une seconde particularité, dans la figure 167, se situe dans la différence de variation de la consommation d'énergie entre la France et l'Allemagne. En effet, l'industrie automobile allemande est

<sup>141</sup> D'autres pays, sans évolution de la production automobile, connaissent également des variations de la consommation d'énergie dans l'industrie manufacturière.

<sup>142</sup> Il est possible que la production automobile en quantité soit supérieure malgré une valeur de production constante en Europe, car la valeur des automobiles produites en Europe de l'Est est inférieure en moyenne à celle d'Europe de l'Ouest.

deux fois plus importante que l'industrie automobile française. Pourtant, une baisse relative de 20 % de la production, dans les deux pays, implique une baisse de la consommation d'énergie deux fois plus élevée en France qu'en Allemagne. La variation de la consommation d'énergie dans un pays n'est donc pas proportionnelle à la variation de production automobile. Ce constat se retrouve dans la plupart des autres pays, notamment dans la situation inverse entre la Hongrie et la Slovaquie.

Pour illustrer cette situation, la figure 169 reproduit l'analyse de la figure 166, sur les sources de variations de la consommation d'énergie dans l'industrie, en France et en Allemagne. Ces sources de variations sont décomposées en quatre parties :

- Baisse de la production nationale d'automobiles (-20 % dans les deux pays).
- Baisse de la production des secteurs industriels nationaux fournissant la construction automobile nationale.
- Baisse de la production des secteurs industriels nationaux fournissant la construction automobile en Europe de l'Ouest (hors pays analysé).
- Hausse de la production des secteurs industriels nationaux fournissant la construction automobile en Europe de l'Est.

S'il y a bien une baisse totale de la consommation d'énergie dans l'industrie de ces deux pays, on remarque d'abord l'effet positif de la hausse de la production automobile en Europe de l'Est. La hausse de la construction automobile en Europe de l'Est augmente les exportations des industries françaises et allemandes vers cette zone. Cette hausse des exportations induit mécaniquement une hausse de la production industrielle, en France et en Allemagne, et donc une hausse de la consommation d'énergie.

C'est sur ce point que se distinguent très fortement l'industrie française et l'industrie allemande. Si la consommation d'énergie est plus touchée en Allemagne par la baisse de la production automobile nationale (-13 TWh dans l'ensemble de l'industrie) qu'en France (-7 TWh), l'industrie allemande profite beaucoup plus de la croissance en Europe de l'Est avec une très forte hausse de ses exportations vers ces pays. Ainsi, alors que les nouvelles exportations de la France vers l'Europe de l'Est augmentent de 4.7 TWh la consommation d'énergie nationale, le même mécanisme induit une augmentation de 13.1 TWh en Allemagne. La hausse de la consommation d'énergie de l'industrie allemande avec les exportations vers l'Europe de l'Est est plus forte que la baisse de consommation liée à la diminution de la production nationale d'automobiles. Cette différence entre les deux pays provient de l'orientation beaucoup plus marquée de l'industrie allemande vers l'Europe de l'Est.

La prise en compte de l'interdépendance entre secteurs industriels et entre pays, par le calcul de l'énergie grise, dévoile un aspect majeur du fonctionnement de l'industrie européenne du point de vue de l'énergie. La possibilité de prévoir et d'interpréter de tels mécanismes constitue un avantage majeur du modèle entrées-sorties multi-régional avec des flux commerciaux complets développé dans cette thèse.

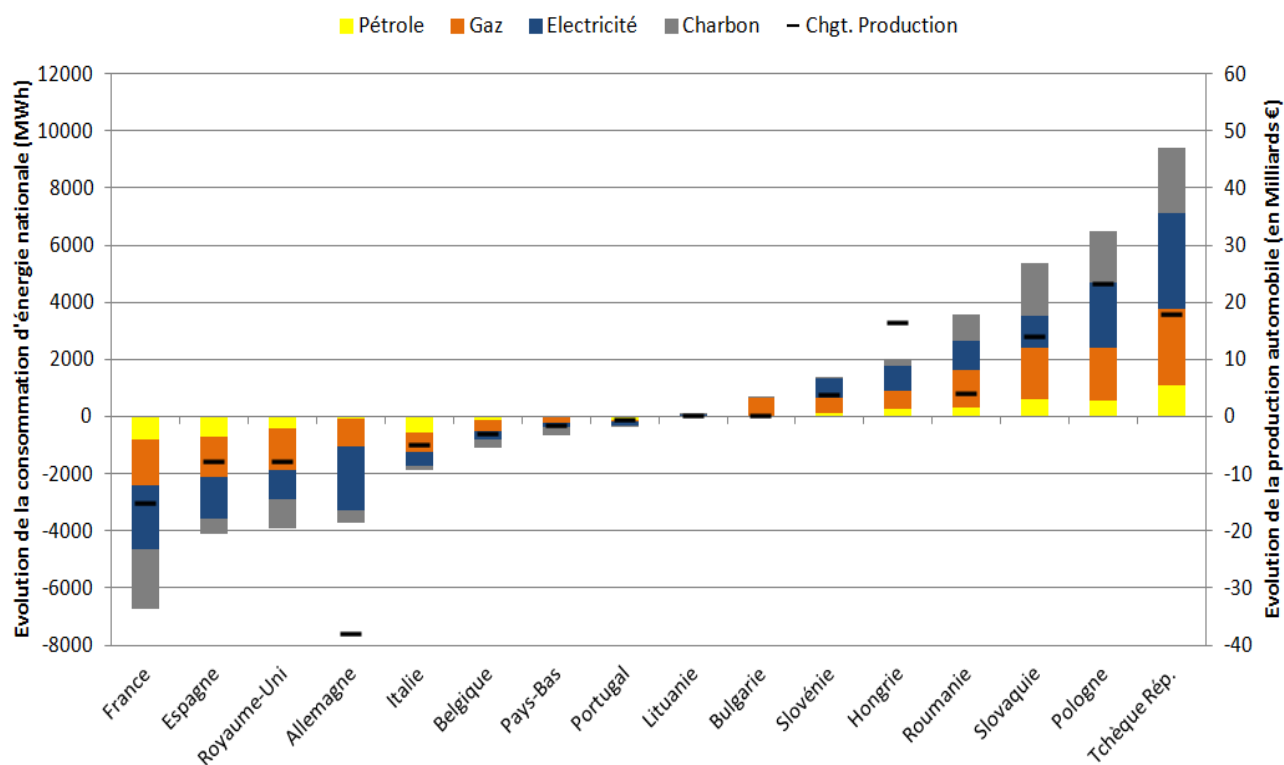


Figure 167 : Estimation de la variation de la consommation d'énergie en cas de relocalisation de la construction automobile.

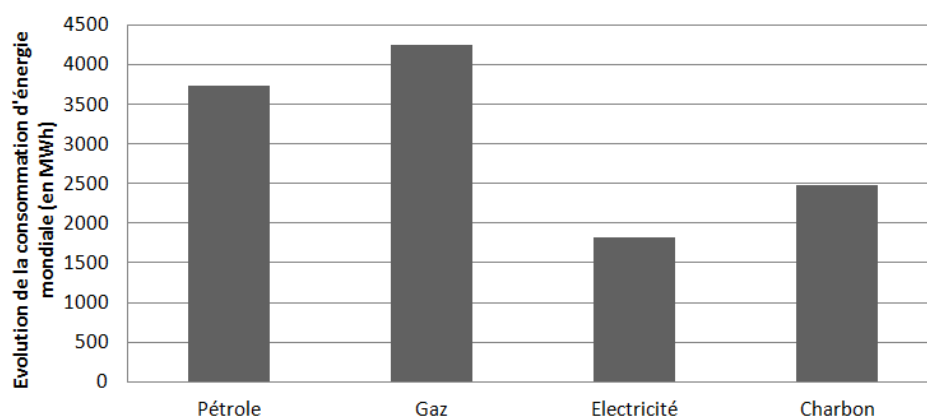
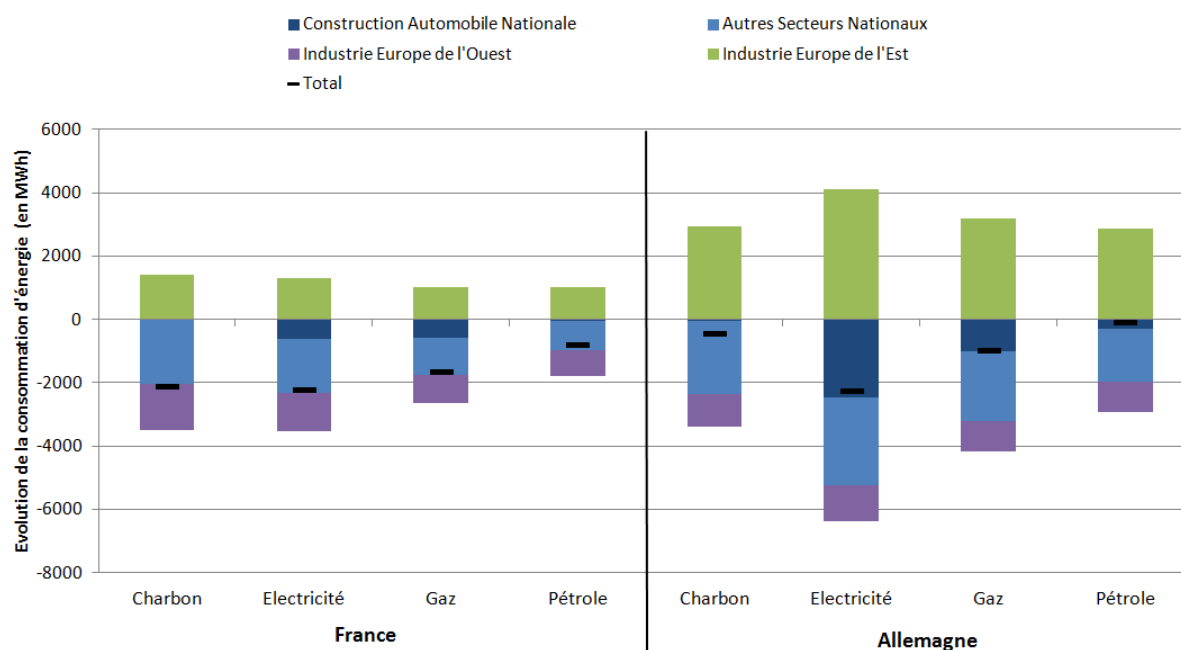


Figure 168 : Bilan global de la consommation d'énergie dans l'industrie manufacturière mondiale.



**Figure 169 : Effet sur la consommation nationale d'énergie en France et en Allemagne d'une hypothèse de relocalisation de l'industrie automobile.**

### 3.3.2) EFFETS DISTRIBUTIFS D'UNE TAXE CARBONE EUROPEENNE SUR LES PAYS ET SUR LES SECTEURS INDUSTRIELS

Les travaux sur les TES peuvent également être utilisés pour analyser la répartition et la transmission des coûts liés à une taxe sur le carbone, c'est-à-dire à la fixation d'un prix sur les émissions de CO<sub>2</sub>, ou pour ceux liés à une augmentation des prix de l'énergie. En effet, une hausse des coûts des émissions ou de l'énergie concerne d'abord le secteur qui émet ce CO<sub>2</sub> ou qui consomme cette énergie. Cette hausse des coûts se répercute ensuite vraisemblablement dans le prix des produits de ce secteur, augmentant ainsi le prix des biens intermédiaires pour tous les secteurs en aval de la chaîne de production industrielle. Pour évaluer l'impact global d'une taxe carbone ou d'une hausse des prix de l'énergie, il ne faut pas uniquement considérer les émissions de CO<sub>2</sub> ou la consommation d'énergie d'un secteur, mais il faut également tenir compte de la hausse du prix des biens intermédiaires. Les relations entre secteurs industriels et entre pays peuvent avoir une influence importante sur l'effet réel d'une taxe carbone ou d'un changement des prix de l'énergie sur la compétitivité d'une industrie.

Le principe de cette application est d'utiliser le calcul de l'énergie ou du CO<sub>2</sub> contenu dans les produits manufacturés afin d'estimer la dépendance d'un secteur industriel à une évolution du prix pour l'un de ces facteurs. L'avantage du modèle entrées-sorties développé est d'intégrer une nomenclature précise de l'industrie manufacturière en Europe. Cela permet d'identifier clairement les secteurs industriels les plus affectés par une hausse des coûts. L'analyse peut alors porter sur l'impact distributif d'une taxe carbone ou d'une hausse des prix de l'énergie. Il est alors possible d'estimer les industries les plus à risque en termes de compétitivité dans une telle situation. D'un point de vue politique, ces industries sont potentiellement les plus farouches opposantes à l'instauration d'une contrainte environnementale. Effectivement, le succès politique d'une taxe est fortement dépendant de l'équité de celle-ci parmi les acteurs concernés (Morgenstern et al., 2004; Olson, 1965).

Dans le cas présenté, l'attention porte plus particulièrement sur l'impact distributif d'une taxe carbone dans l'Union européenne. C'est une analyse sur un cas particulier, mais la flexibilité des résultats sur l'énergie grise permet de réaliser également des études sur une taxe carbone dans d'autres situations, ou sur une évolution des prix de l'énergie.

On considère ici l'effet d'une taxe carbone de 20€/tCO<sub>2</sub> pour toute l'industrie manufacturière dans l'Union européenne. Ce taux est issu de la proposition de la Commission européenne du 13 Avril 2011 sur une nouvelle règle de taxation de l'énergie (European Commission, 2011). Cette proposition a pour but de favoriser les énergies renouvelables et la réduction des émissions de CO<sub>2</sub>. Les principaux changements apportés par rapport à la dernière directive de taxation de l'énergie (Conseil de l'Union Européenne, 2003), adoptée en 2003, seraient d'assurer une taxation uniforme et cohérente de toutes les sources d'énergie à travers l'Union européenne et d'introduire un prix du CO<sub>2</sub>. Cette taxe inclurait deux parties : d'abord une taxe basée sur le contenu énergétique des combustibles et de l'électricité à 0.15 € par GJ, puis une autre basée sur le contenu en CO<sub>2</sub> à 20 €/tCO<sub>2</sub>. Ces taux constitueraient des minima pour chaque pays membre ; ces pays seraient alors libres de fixer des taux plus élevés.

Normalement, la taxe sur les émissions de CO<sub>2</sub> concernerait tous les secteurs sauf les industries qui sont déjà sous le système communautaire d'échange de quotas d'émissions (EU ETS) afin d'éviter tout problème de chevauchement. Cependant, dans notre analyse, les quotas d'émissions ne sont pas pris en compte. On considère, au contraire, que toute l'industrie manufacturière est soumise à une taxe carbone uniforme. En théorie, dans un marché parfait, ces deux mesures fiscales sont similaires pour les entreprises si les quotas sont mis aux enchères. De plus, cette hypothèse d'homogénéité de la taxe permet de comparer directement et plus clairement les secteurs industriels entre eux. La part de la taxe liée au contenu énergétique de chaque combustible n'est pas étudiée<sup>143</sup>.

L'enjeu de cette étude est d'identifier les risques de perte de compétitivité dans l'industrie suite à l'instauration d'une politique environnementale. Généralement, les conséquences d'une telle taxe sont difficiles à prévoir puisque de nombreux secteurs dans différents pays interagissent entre eux tout au long de la chaîne de production industrielle. Cette interdépendance est d'autant plus saillante que la globalisation de l'industrie manufacturière s'accroît. Avec l'augmentation continue de la part des importations dans la demande domestique, la généralisation des politiques d'internationalisation des grandes entreprises et la fragmentation continue de la chaîne de valeur industrielle, l'industrie manufacturière ne dépend plus uniquement de la politique énergétique ou environnementale nationale mais aussi de ces politiques au niveau international.

De plus, les industries européennes ont de plus en plus à se confronter à de nouveaux concurrents des pays émergents, ce qui augmente le risque de perte de compétitivité lié à une taxe unilatérale. Par exemple, l'Union européenne des 25 a perdu 1.3 points, de 20.8 % à 19.5 %, de parts de marché dans le marché mondial des marchandises (hors énergie), en valeur, entre 1995 et 2005 (European Commission, 2008a). Une vision claire et complète du risque induit par une taxe carbone sur l'industrie, tenant compte de l'interdépendance des secteurs, est alors essentielle à la mise en place d'une politique environnementale efficace et largement acceptée. Le calcul de l'énergie et du CO<sub>2</sub> contenus dans les produits manufacturés permet de répondre en grande partie à cette problématique.

---

<sup>143</sup> Les coûts liés à cette partie de la taxe sont significativement plus faibles pour les secteurs industriels que ceux liés aux émissions de CO<sub>2</sub>. De plus, de nombreux usages spécifiques de l'énergie, sur lesquels il existe très peu de données, sont exemptés de cette taxe.

### 3.3.2.1) AUGMENTATION DU PRIX DES PRODUITS MANUFACTURES LIEE A UNE TAXE CARBONE

L'objectif principal de l'étude est d'estimer le risque de perte de compétitivité de l'industrie manufacturière induit par l'instauration d'une taxe carbone. Afin d'évaluer ce risque, l'augmentation potentielle du prix des produits manufacturé est calculée comme un pourcentage du prix initial. La valeur de la taxe est donc mesurée comme une taxe *ad valorem* (Mongelli et al., 2009).

Afin de calculer l'augmentation du prix des produits manufacturés, le contenu en CO<sub>2</sub> des produits est multiplié par le taux de la taxe ( $t_r$ ), soit le prix du CO<sub>2</sub> par tonne émise (20€/t). Ce prix est ajustable selon le scénario de l'analyse.

Les résultats décrivent l'augmentation maximum potentielle des prix, c'est une situation de pire cas. Les hypothèses de calcul sont les suivantes :

- Impossibilité pour les acteurs de réagir en modifiant leur procédé de production ou de substituer un bien intermédiaire par un autre. L'analyse ne porte donc que sur le court terme.
- Un taux de transfert de 100 % entre tous les secteurs, comme dans une situation de concurrence parfaite. Cependant, le calcul est linéaire. Il est donc possible de modifier ce taux pour chaque secteur. Par exemple, dans les résultats présentés par la suite, si on considère que le taux de transfert du coût de la taxe n'est que de 50 % pour le secteur de l'électricité, il suffit de diviser l'augmentation des prix liée à la hausse des prix de l'électricité par deux. On peut ainsi modifier le taux de transfert dans l'ensemble de l'industrie, pour les biens intermédiaires, en multipliant les résultats par un scalaire.

La nouvelle équation pour mesurer l'augmentation des prix par unité de production dans un secteur est la suivante :

$$\Delta p = t_r * (e_f + e_e)^T * E_e \quad (46)$$

Comme l'étude porte principalement sur l'augmentation potentielle du prix des produits manufacturés, il est important de déterminer la cause de cette augmentation. Cette augmentation peut en effet être décomposée en quatre parties :

- Les coûts liés aux émissions directes de CO<sub>2</sub> du secteur, du fait de la consommation des combustibles fossiles et des émissions de procédé.
- L'augmentation potentielle du prix de l'électricité consommée. La consommation directe d'électricité de chaque secteur est multipliée par le facteur d'émission de l'électricité dans le pays concerné. Nous supposons ici que les producteurs d'électricité<sup>144</sup> transfèrent entièrement le coût de la taxe sur les prix. Il est néanmoins possible d'utiliser d'autres taux de transfert facilement à partir des résultats car l'équation utilisée est linéaire.
- La troisième source d'augmentation provient de la hausse du prix des biens intermédiaires consommés par un secteur. C'est le coût indirect d'une taxe qui se transmet de l'amont de la chaîne de production industrielle jusqu'à son aval. Nous supposons également ici que le taux de transfert des coûts de la taxe sur les prix est de 100 %. Comme précédemment, ce taux peut être modifié selon les scénarios de l'étude. Notamment, l'étude peut être complétée par une

<sup>144</sup> De plus, les raffineries émettent également du CO<sub>2</sub>. Cependant, l'augmentation des prix liée à ces émissions des raffineries sont inclus dans la section des biens intermédiaires.



analyse plus précise intégrant un taux de transfert propre à chaque secteur industriel. Cette part de l'augmentation des prix reflète l'effet des interdépendances industrielles, un aspect souvent négligé dans les analyses de l'impact compétitif d'une taxe carbone.

- Enfin, l'augmentation des prix qui serait liée à une potentielle taxe carbone à la frontière de l'UE est également introduite à un taux de 20€/tCO<sub>2</sub>. Pour les produits manufacturés non-européens, nous tenons compte de l'ensemble du contenu en CO<sub>2</sub> et nous n'utilisons pas la méthode des benchmarks.

### 3.3.2.2) LES INDUSTRIES INTENSIVES EN ENERGIE NE SONT PAS LES SEULES AFFECTEES PAR UNE TAXE CARBONE

Les différences relatives de l'impact d'une taxe carbone peuvent, dans un premier temps, être estimées parmi les secteurs industriels européens. Dans cette analyse, des secteurs moyennés pour toute l'Union européenne sont étudiés. Pour cela, une moyenne entre tous les pays européens, pondérée par l'importance relative de leur production, est calculée. Comme expliqué auparavant, l'impact de la taxe est mesuré comme la valeur de la taxe en pourcentage par rapport au prix initial des produits. Cette mesure indique le risque potentiel maximum d'augmentation des prix à cause d'une taxe carbone pour un secteur industriel et donc une possible perte de compétitivité par rapport aux concurrents internationaux non soumis à une contrainte environnementale. L'origine de cette augmentation des prix industriels est répartie entre le coût des émissions directes d'un secteur (consommation des combustibles, émissions de procédés), l'augmentation du prix de l'électricité et ceux des biens intermédiaires. Pour ces derniers, on distingue les biens intermédiaires produits dans l'Union européenne et ceux importés de pays hors-UE, soumis à une taxe carbone que si une taxe à la frontière est en place. Les résultats sont présentés pour les secteurs les plus sensibles en Europe dans la figure 170.

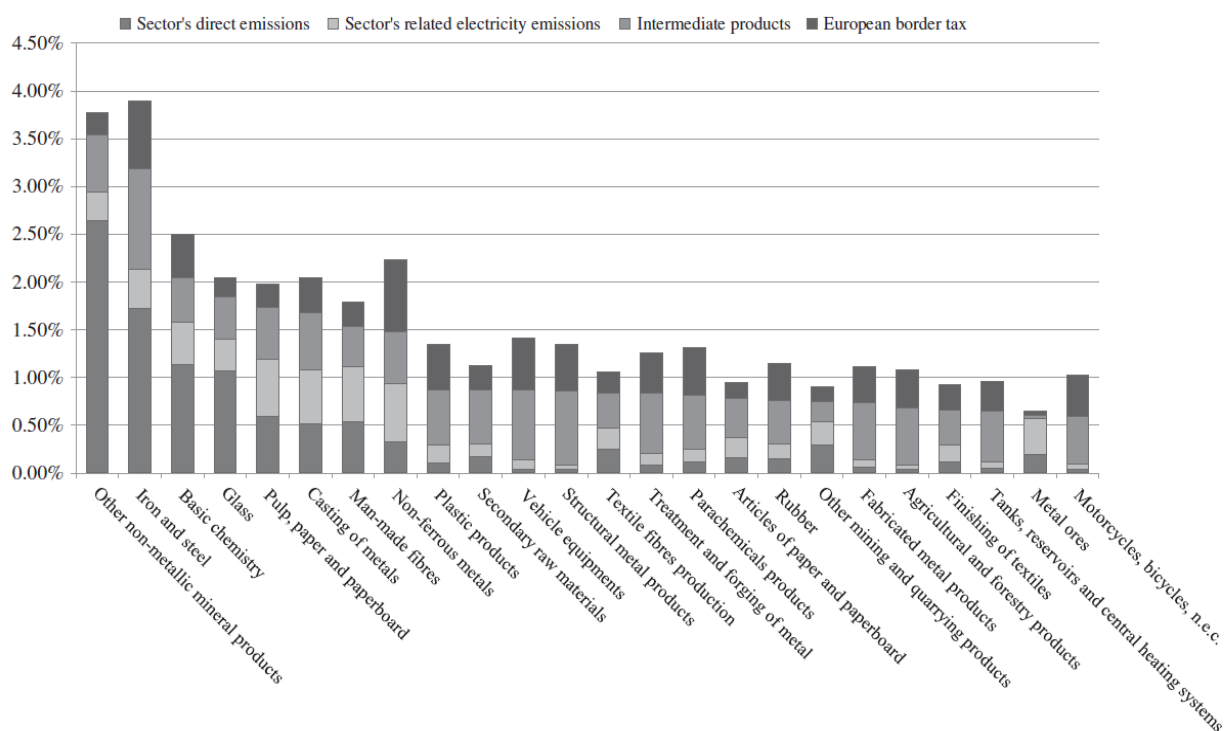


Figure 170 : Valeur de la taxe comme un pourcentage du prix initial des produits manufacturés pour les secteurs les plus pénalisés par une taxe à 20€/tCO<sub>2</sub>.

Si seul l'effet de la taxe induit par les émissions directes des secteurs est d'abord considéré, la pression fiscale concerne principalement les secteurs qui émettent de grande quantité de CO<sub>2</sub>, tels que les minéraux non-métalliques (hors verre), la sidérurgie, la chimie de base et le papier. Seules dix industries subissent une augmentation des prix de plus de 0.2 %. Le niveau relativement bas de cette augmentation reflète le fait qu'un prix du carbone de 20€/tCO<sub>2</sub> reste faible. Cependant, la sensibilité des industries à d'autres prix du CO<sub>2</sub> peut être étudiée en multipliant par un nombre scalaire les résultats présentés (linéarité du modèle). Par exemple, pour étudier l'impact d'une taxe à 40€/tCO<sub>2</sub>, il suffit de multiplier par deux les résultats. Les coûts liés aux émissions directes des secteurs sont très variables parmi les industries. Certains secteurs doivent supporter une majeure partie de la taxe, ce qui mène à des problèmes d'équité et de compétitivité.

Les effets indirects d'une taxe carbone peuvent également être très significatifs, du fait d'une hausse des prix de l'électricité ou des biens intermédiaires. En moyenne pour tous les secteurs, la hausse des prix induite par les émissions directes de CO<sub>2</sub> est d'environ 0.21 %. En comparaison, l'impact d'une hausse des prix de l'électricité est d'environ 0.15 % et celui d'une hausse des prix des biens intermédiaires de 0.36 %. L'effet de la hausse des prix de l'électricité touche plus fortement certains secteurs comme les métaux non-ferreux, la production de pâte à papier et de papier ainsi que les fibres artificielles. Pour ces industries, l'effet d'une hausse des prix de l'électricité est plus important que celui du coût des émissions directes. En conséquence, pour ces industries, de fortes variations dans le contenu en CO<sub>2</sub> de la production électrique parmi les pays européens peuvent créer des écarts de compétitivité conséquents entre les pays membres.

La hausse du prix des biens intermédiaires, quantifiable par l'utilisation des tableaux entrées-sorties, contribue de façon significative à la hausse du prix des produits manufacturés pour la plupart des industries européennes. Cet effet rend la pression fiscale plus homogène parmi les secteurs, puisqu'il affecte surtout les industries en aval de la chaîne de production industrielle. Pour 43 secteurs industriels parmi 59, plus de la moitié de l'augmentation des prix, liée à une taxe carbone, dépend de la hausse du prix des biens intermédiaires. Pour de nombreux secteurs, la contribution des achats de biens intermédiaires constitue quasiment toute la valeur de la taxe, comme pour la production des éléments en métal pour la construction ou de machines agricoles.

Dans certains cas, la prise en compte de la hausse du prix des biens intermédiaires peut impliquer un risque de perte de compétitivité même si le secteur concerné n'est pas considéré comme un émetteur important de CO<sub>2</sub>. Par exemple, pour les produits plastiques ou les équipements automobiles, la pression fiscale de la taxe carbone atteindrait ainsi des niveaux proches de ceux affectant les industries grandes émettrices de CO<sub>2</sub> telles que la chimie ou les métaux de base. Cependant, des secteurs tels que la production d'équipements automobiles produisent des biens avec une valeur élevée pour un poids relativement faible par rapport aux industries de base. Les coûts de transport sont donc un frein bien moins important face aux importations hors-UE dans ces secteurs que dans la plupart des IGCE. En conséquence, la compétitivité internationale de ces industries risque d'être autant menacée par une taxe carbone que pour les secteurs à fortes émissions de CO<sub>2</sub>, avec des coûts de transport élevés et une attention particulière des institutions européennes. Même l'allocation gratuite de quotas d'émissions pour les secteurs à fortes émissions de CO<sub>2</sub>, en amont de la chaîne de production industrielle, peut

potentiellement augmenter le prix des biens intermédiaires pour les autres industries si ces secteurs considèrent le coût d'opportunité de ces quotas<sup>145</sup>.

Dans le cas où une taxe carbone à la frontière est instaurée, l'écart de compétitivité avec les pays hors-UE serait réduit si l'ensemble du contenu en CO<sub>2</sub> des produits importés est pris en compte. Si les produits importés ne sont taxés que sur la base des émissions du secteur final de production, seule la valeur de la taxe liée aux émissions directes des secteurs serait harmonisée. Tous les autres impacts indirects d'une taxe carbone, quantifiés dans cette étude, affecteraient toujours la compétitivité des industries européennes. De plus, une taxe à la frontière augmenterait également le prix des biens intermédiaires importés et utilisés dans la production européenne, et donc aussi le prix des biens manufacturés européens. Notamment, certaines industries seraient plus sensibles à une augmentation du prix des biens intermédiaires provenant des pays hors-UE, comme les métaux non-ferreux, la fabrication de moteurs, de génératrices et de transformateurs électriques ainsi que les équipements automobiles. L'importance des impacts indirects d'une taxe à la frontière sur la compétitivité de l'industrie européenne doit donc être clairement identifiée avant l'instauration d'un tel système.

### 3.3.2.3) UNE CONCURRENCE INEGALEMENT AFFECTEE SELON LES PAYS DE L'UNION EUROPEENNE

---

Dans cette partie, une moyenne de la valeur de la taxe carbone pour l'industrie de chaque pays européen est calculée en la pondérant par la production des différents secteurs domestiques (Figure 171). Dans les résultats, la répartition du coût de la taxe carbone est très inégale non seulement entre les secteurs industriels mais aussi entre les pays européens. Ces variations reflètent des différences dans la structure nationale des industries, dans l'efficacité productive et énergétique, et dans l'importance du recours aux importations.

Dans un premier temps, la valeur de la taxe induite par les émissions directes des industries est très contrastée selon les pays. La moyenne de la hausse du prix des produits manufacturés, liée aux émissions directes, est de 0.70 % en Roumanie, en Bulgarie ou en Slovaquie, mais seulement de 0.20 % en France ou en Allemagne. Dans les pays d'Europe de l'Est, l'intensité énergétique des procédés industriels est plus élevée qu'en Europe de l'Ouest. De plus, les secteurs émettant de grandes quantités de CO<sub>2</sub> sont relativement plus importants dans les industries des pays de l'est.

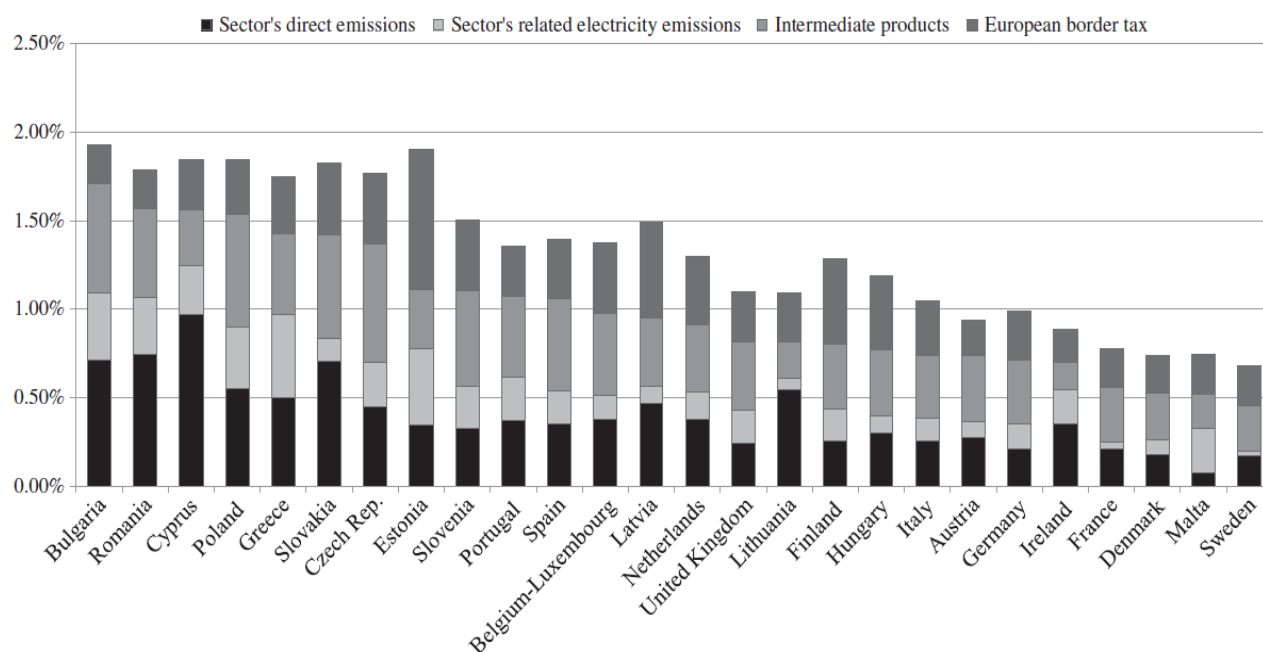
L'augmentation potentielle du prix des produits manufacturés liée à une hausse des prix de l'électricité est très hétérogène parmi les pays européens. En effet, les émissions de CO<sub>2</sub> par unité d'électricité produite varient très fortement selon les pays (Annexe E). Par exemple, pour produire 1 MWh d'électricité, 0.044 tCO<sub>2</sub> sont émis en moyenne en Suède alors que cette quantité est de 0.660 tCO<sub>2</sub> en Pologne (IEA, 2009a). Pour une taxe à 20€/tCO<sub>2</sub>, cela constitue une augmentation d'environ 1€/MWh en Suède et de 13€/MWh en Pologne. Cet écart dans la hausse des prix de l'électricité peut induire des différences de coût très importantes pour les secteurs consommant beaucoup d'électricité comme les métaux non-ferreux ou le papier. En outre, pour ces industries, la compétition commerciale reste encore principalement concentrée au niveau européen, et non au niveau mondial. En conséquence, la distorsion de concurrence induite par une taxe carbone risque d'être autant voire plus importante entre les pays européens qu'entre ceux-ci et les industries hors-UE.

---

<sup>145</sup> Sous des hypothèses de maximisation des profits, une entreprise inclut les coûts d'opportunité dans le calcul de son coût marginal, comme si les quotas avaient été achetés aux enchères (Demailly & Quirion, 2008).

Enfin, sans taxe carbone à la frontière de l'Europe, les pays qui échangent massivement avec les industries hors-UE bénéficient d'un accès à des biens intermédiaires importés avec un fort contenu en CO<sub>2</sub> et non taxés. C'est notamment le cas pour les pays à la frontière Est de l'Union européenne, échangeant beaucoup avec la Russie et les anciens pays soviétiques, comme l'Estonie, la Lituanie et la Roumanie. Dans la figure 171, l'augmentation du prix des produits manufacturés liée à la hausse du prix des biens intermédiaires est plus faible dans ces pays que dans les autres pays situés au centre de l'Europe.

A l'inverse, l'instauration d'une taxe carbone à la frontière de l'UE affecterait beaucoup plus fortement ces pays que le reste de l'Europe. Comme l'industrie de la Russie et des anciens pays soviétiques est très polluante, surtout en CO<sub>2</sub>, un lien industriel fort avec ces pays représenterait alors un désavantage compétitif important. Ce constat apparaît clairement dans la figure 171, avec une forte augmentation potentielle du prix des produits liée à une taxe à la frontière dans les pays d'Europe de l'Est. L'instauration d'une taxe carbone à la frontière impliquerait donc une pression fiscale très contrastée selon les pays européens et pourrait provoquer des problèmes de concurrence importants à l'intérieur de l'UE. Avec l'intégration de plus en plus forte des industries européennes, les prix de l'énergie ainsi que les réglementations environnementales peuvent donc être des facteurs déterminants de la spécialisation industrielle des pays.



**Figure 171 : Valeur de la taxe comme un pourcentage du prix initial des produits manufacturés par pays pour une taxe à 20€/tCO<sub>2</sub>.**

### 3.3.2.4) VALEUR D'UNE TAXE CARBONE A LA FRONTIERE POUR LES EXPORTATEURS HORS-UNION EUROPEENNE

Une taxe à la frontière est souvent considérée comme un moyen de résoudre les problèmes de compétitivité liés par l'instauration unilatérale d'une contrainte environnementale dans une zone économique comme l'Union européenne. Ce problème de compétitivité a des enjeux non seulement économiques mais également environnementaux. En effet, le problème des fuites de carbone est souvent mis en avant. Une contrainte environnementale trop forte sur une industrie nationale peut favoriser la délocalisation de celle-ci dans des pays où ces contraintes sont absentes. Cette politique environnementale peut alors mener à une augmentation des émissions de polluants dans le monde (Atkinson et al., 2011).

Cependant, une taxe à la frontière sur le CO<sub>2</sub> est un système difficile à mettre en place (voir p.304). D'abord, d'un point de vue technique, il semble nécessaire de mesurer le contenu en CO<sub>2</sub> des importations, c'est-à-dire les émissions dans les pays exportateurs. Cela représente des coûts administratifs très importants quand cela est possible. Une solution est alors de considérer que les importations ont un contenu similaire à celui des exportations, ce qui réduit les coûts administratifs et augmente l'acceptabilité politique d'une telle mesure (Monjon & Quirion, 2010). Par contre, cela n'encourage pas les exportateurs à réduire leurs émissions, qui sont souvent bien plus élevées que dans les pays importateurs.

Ensuite des problèmes juridiques rendent incertaine la possibilité de mettre en place un tel système sous les règles de l'Organisation Mondiale du Commerce (OMC ou WTO), (Atkinson et al., 2011). Une taxe carbone à la frontière s'apparente à une taxe sur les importations et peut donc être contestée par les pays membres de l'OMC. C'est dans ce cadre que s'inscrit cette section, l'objectif est de mesurer la valeur potentielle d'une telle taxe pour les pays exportant vers l'Union européenne. Il est ainsi possible d'évaluer quel pays serait le plus affecté par l'instauration d'un tel système. Notamment, par la quantification des écarts entre pays et entre secteurs, il est possible de mettre en place des mesures de compensation.

Pour cela, on estime l'augmentation du prix des produits importés en UE avec une taxe à la frontière de 20€/tCO<sub>2</sub>, en tenant compte de tout le CO<sub>2</sub> contenu dans les produits manufacturés. Les différences d'efficacité productive et énergétique entre pays exportateurs créent des écarts significatifs dans le niveau de la taxe à la frontière. Les résultats pour 6 grands pays exportant vers l'Union européenne sont comparés : les Etats-Unis, le Japon, le Brésil, la Russie, la Chine et l'Inde.

Les résultats par secteur pour chacun des pays sont présentés dans les figures 172 et 173. La première conclusion est que la valeur d'une taxe à la frontière peut être très élevée pour certains pays par rapport à la valeur de la taxe carbone en Europe. Par exemple, dans la sidérurgie, l'augmentation moyenne des prix pour la production européenne est évaluée à 4 %. Seuls les aciers des Etats-Unis et du Japon seraient taxés dans les mêmes proportions. Pour les pays émergents, la valeur de la taxe peut s'élever de 6.5 % à 15 % du prix des aciers. De même, pour les produits chimiques importés des pays émergents, la valeur de la taxe serait située entre 4 % et 16 %, alors que le taux moyen en Europe serait au maximum de 2.5 %<sup>146</sup>.

<sup>146</sup> On considère ce taux comme un maximum en Europe car la nomenclature n'est pas identique. Pour les pays européens, la valeur de 2.5 % est calculée pour la chimie de base, alors que pour les pays hors-UE cette valeur

Deux groupes de pays se distinguent clairement par le niveau de CO<sub>2</sub> contenu dans leurs exportations manufacturières et donc par la valeur d'une potentielle taxe à la frontière pour ces pays. Dans un premier temps, les Etats-Unis, le Japon et le Brésil seraient affectés par une hausse du prix des produits comparable à celle qui est estimée pour l'Union européenne. Le second groupe est composé de pays émergents avec la Chine, l'Inde et la Russie. Dans ce groupe, le niveau effectif de la taxe à la frontière est en moyenne trois fois plus élevé que dans le premier groupe et que par rapport à la hausse des prix dans l'Union européenne.

Ensuite, les produits d'industries considérées comme faibles émettrices de CO<sub>2</sub> seraient aussi concernés par des niveaux élevés de taxation. Les produits métalliques, les machines-outils et les industries du transport seraient soumis à une taxe significative, entre 1 % et 1.5 % pour les Etats-Unis ou le Japon, mais entre 1.5 % et 7 % pour les pays émergents.

Une taxe à la frontière risque donc de créer des distortions importantes dans les échanges commerciaux internationaux. Le problème d'acceptabilité internationale d'une taxe à la frontière est donc plus important pour les pays émergents que pour les autres pays développés. Des solutions de compensation pour ces pays peuvent éventuellement les convaincre d'accepter de telles mesures.

---

est estimée pour toute la chimie dans son ensemble (chimie de base, parachimie, pharmaceutique, produits plastique, etc.).

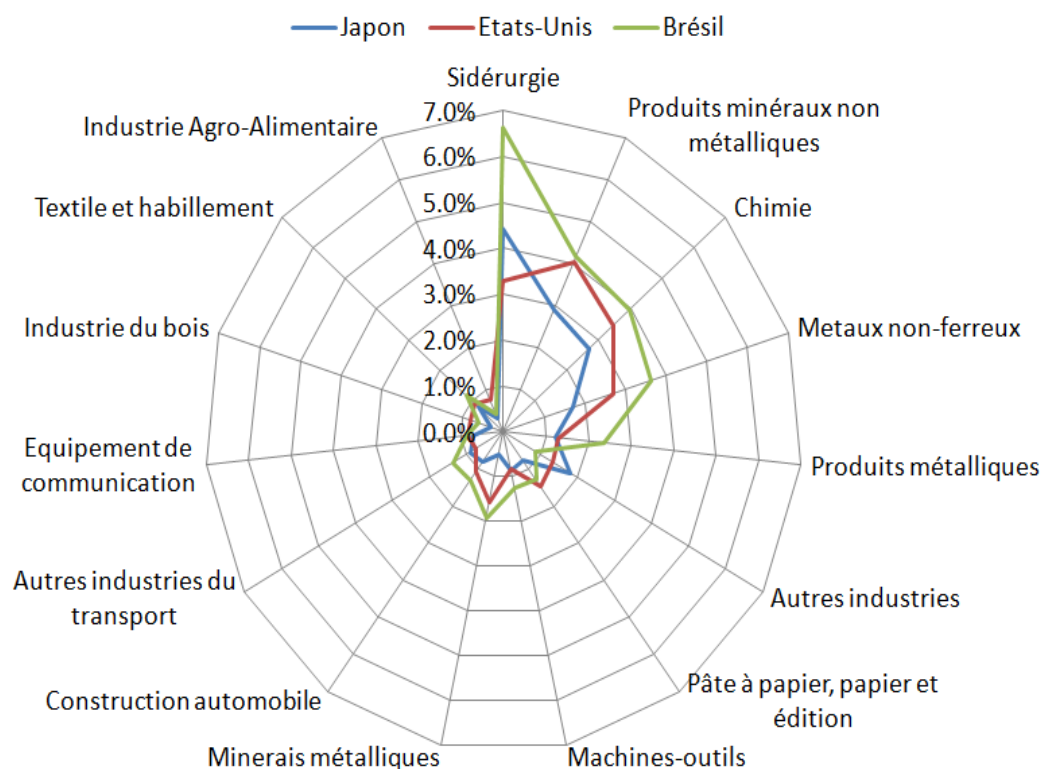


Figure 172 : Taux effectif d'une taxe carbone à la frontière de l'Union européenne sur les exportations par secteur du Japon, des Etats-Unis et du Brésil

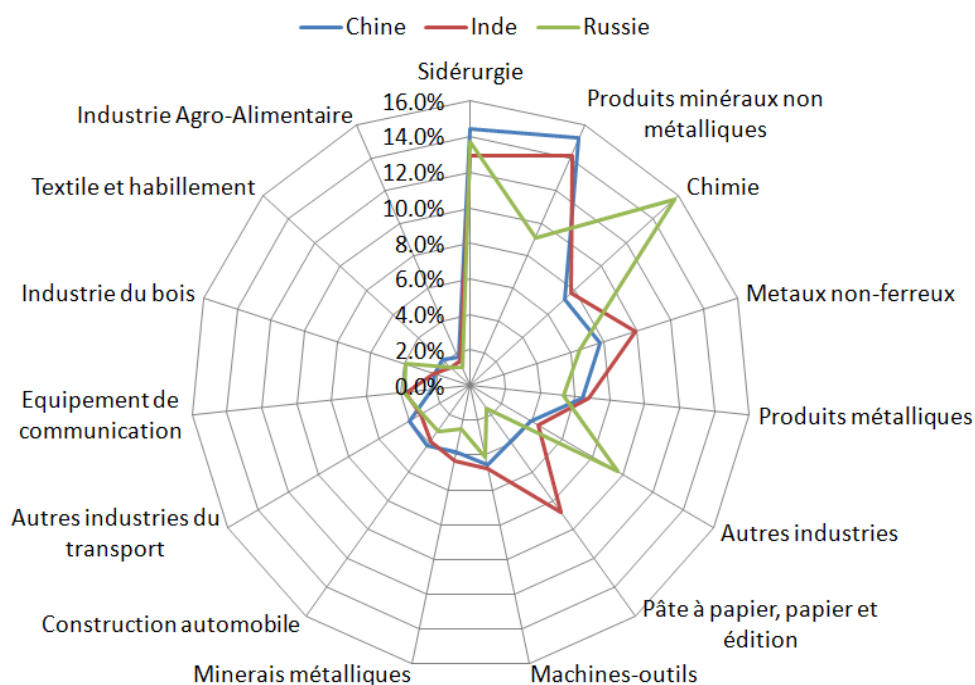


Figure 173 : Taux effectif d'une taxe carbone à la frontière de l'Union européenne sur les exportations par secteur de la Chine, de l'Inde et de la Russie



### **CONCLUSION DU CHAPITRE III**

**L**es problématiques énergétiques et environnementales sont actuellement au cœur des débats et de la politique de l'Union européenne. Une des principales inquiétudes par rapport à l'instauration d'une nouvelle réglementation sur ces sujets concerne son effet potentiel sur la compétitivité de l'industrie européenne.

L'analyse économique des conséquences sur la compétitivité de l'ensemble de l'industrie manufacturière d'une variation des prix de l'énergie, ou de la mise en place d'une régulation environnementale, est complexe à appréhender du fait de la fragmentation des industries européennes et mondiales. En effet, avec la globalisation de la chaîne de production manufacturière, la situation de l'énergie dans l'industrie évolue rapidement. Les échanges de biens intermédiaires ont triplé dans le monde entre 1994 et 2006. S'il est encore possible d'analyser le rôle de l'énergie domestique sur la compétitivité de certaines industries en amont de cette chaîne (notamment par des études économétriques comme dans le chapitre II), l'étude des échanges commerciaux démontre la nécessité d'aborder une échelle globale pour analyser le rôle de l'énergie dans l'ensemble de l'industrie.

Afin d'analyser les enjeux de l'énergie sur l'ensemble de l'industrie et sur sa compétitivité, une méthode basée sur la construction et l'utilisation de tableaux entrées-sorties, au niveau européen et au niveau mondial, est mise en place. Cette méthode combine des informations à la fois sur les échanges économiques entre secteurs industriels, sur les flux commerciaux bilatéraux entre pays et sur la consommation d'énergie de chaque industrie. Il est alors possible de quantifier l'énergie et le CO<sub>2</sub> contenus dans un produit manufacturé, soit toute l'énergie nécessaire, ou tout le CO<sub>2</sub> émis, pour la production d'un bien manufacturé tout au long de la chaîne de production. Il en résulte alors une cartographie précise des flux d'énergie et de CO<sub>2</sub> par l'intermédiaire des produits manufacturés à travers le monde.

Une approche multi-régionale (MRIO) et multi-directionnelle est utilisée. Cela implique que tous les tableaux entrées-sorties nationaux sont reliés entre eux grâce aux échanges commerciaux et que toute la chaîne de production industrielle internationale, de l'extraction minière au produit final, est incluse dans le calcul. En ce sens, l'étude rejoint la méthodologie des travaux les plus avancés sur le thème, qui se sont surtout concentrés sur l'étude du CO<sub>2</sub>. Cependant, les travaux de cette thèse se distinguent par l'utilisation de données sectorielles beaucoup plus précises sur l'industrie manufacturière dans chacun des pays européens. Au lieu d'étudier 17 secteurs industriels distincts, l'analyse porte sur 59 secteurs avec des fonctions de production, des intensités énergétiques et des structures d'importations différentes dans chaque pays. Cette plus grande précision améliore significativement les résultats et permet l'identification précise des secteurs industriels. Ce dernier point est essentiel dans la mise en place d'applications concrètes basées sur les résultats de l'énergie grise. La réalisation du calcul de l'énergie grise a donc nécessité un regroupement exhaustif des données sur la consommation d'énergie dans chacun des secteurs industriels européens.

L'analyse des flux d'énergie et de CO<sub>2</sub> contenus dans les produits manufacturés permet d'établir une nouvelle cartographie de l'énergie et du CO<sub>2</sub> dans le monde. Celle-ci complète la vision traditionnelle sur les flux d'énergie primaire entre pays extracteurs d'énergie vers les pays consommateurs. En effet, les quantités d'énergie et de CO<sub>2</sub> contenus dans les produits manufacturés sont très importantes et ne doivent pas être négligées. Au niveau mondial, ces flux sont très déséquilibrés. L'Asie, surtout la Chine, et l'ancien bloc soviétique exportent de grandes quantités d'énergie et de CO<sub>2</sub> par

l'intermédiaire des échanges commerciaux. A l'opposé, l'Europe et l'Amérique du Nord importent beaucoup plus d'énergie et de CO<sub>2</sub> par les biens manufacturés qu'ils n'en exportent. Cette prise en compte du CO<sub>2</sub> dans les biens manufacturés permet notamment de localiser la consommation finale qui induit ces émissions. Cependant, si cette nouvelle comptabilité permet de mieux appréhender les interdépendances entre pays d'un point de vue environnemental, elle ne permet pas de définir directement des responsabilités.

Les résultats de l'analyse démontrent que l'énergie contenue dans les biens manufacturés peut jouer un rôle essentiel dans la production et la consommation manufacturières européennes. Notamment, l'énergie contenue dans les produits manufacturés importés en UE (3160 TWh) en 2005, équivaut à 75 % de la consommation totale d'énergie de l'industrie européenne. La dépendance de l'industrie aux prix de l'énergie, et donc sa compétitivité, n'est pas seulement un enjeu national, mais une problématique européenne voire mondiale. Une part significative de l'énergie nécessaire à la production industrielle européenne dépend de l'évolution des prix de l'énergie dans les pays hors-UE. Néanmoins, pour les secteurs en amont de la chaîne de production industrielle, souvent les IGCE, ce constat reste plus modéré.

Afin de traiter au mieux la problématique de la compétitivité industrielle par rapport à l'énergie, il est alors plus pertinent de développer une politique européenne commune, « *a European geo-energy space* » (Mañé-Estrada, 2006), pour protéger l'approvisionnement en énergie et encourager des prix compétitifs de l'énergie, que de mettre en place des actions uniquement nationales aux dépens des autres pays européens. L'industrie manufacturière européenne est désormais trop intégrée pour aborder la question de l'énergie par rapport à sa compétitivité du seul point de vue national, surtout pour les secteurs en aval de la chaîne de valeur industrielle. Néanmoins, d'autres facteurs tendent à freiner la possibilité d'une telle politique commune comme la diversité des systèmes de production d'énergie ou l'existence d'objectifs commerciaux et politiques divergents.

Enfin, les résultats sur l'énergie ou sur le CO<sub>2</sub> contenus dans les produits manufacturés permettent de développer des analyses économiques tenant compte des interdépendances énergétiques entre secteurs et entre pays. Deux applications concrètes sont alors présentées dans cette thèse.

Dans la première application, le calcul de l'énergie grise est utilisé pour prévoir l'effet sur la consommation d'énergie globale, par pays et par secteur, d'une évolution de la structure industrielle existante. Lorsqu'un secteur industriel augmente ou diminue sa production, cela n'implique pas seulement des changements de consommation d'énergie dans le cadre de ce secteur mais aussi dans toutes les industries qui y sont liées. En considérant que les liens entre secteurs industriels demeurent constants, l'énergie grise permet d'identifier la localisation et l'intensité des changements de consommation d'énergie. La seule prise en compte des changements dans un secteur en évolution, en isolation du reste de l'industrie manufacturière, revient à perdre une grande partie de l'information sur les variations de la consommation d'énergie. De plus, l'aspect international du calcul de l'énergie grise met en évidence des relations industrielles particulières entre chaque nation.

Dans la seconde application, les résultats de l'analyse entrées-sorties sont utilisés pour estimer l'impact distributif d'une potentielle taxe carbone à 20€/tCO<sub>2</sub> sur les secteurs industriels européens. L'objectif est d'identifier les secteurs industriels les plus concernés par un risque de perte de compétitivité face aux concurrents internationaux. Cette analyse présente également un intérêt important pour répondre à la question de la redistribution des revenus liés à une taxe environnementale (« *revenue-recycling* »). Pour cela, la valeur de la taxe carbone est mesurée comme un pourcentage du

prix initial des produits manufacturés d'un secteur. Ce type d'analyse s'applique également à l'étude de l'impact sur les prix industriels d'une évolution des prix de l'énergie. Néanmoins, l'analyse constitue une estimation à court-terme et « au pire cas » de la hausse de prix potentielle des biens manufacturés. L'avantage d'une analyse entrées-sorties est de pouvoir distinguer l'origine de cette hausse entre le coût des émissions directe de CO<sub>2</sub> et l'effet indirect des prix de l'électricité et des biens intermédiaires. Les principaux résultats sont les suivants :

- D'abord, le coût de la taxe lié aux émissions directes des secteurs industriels n'affecte essentiellement qu'une petite partie des industries telles que les minéraux non-métalliques, la sidérurgie, la chimie de base et le papier. Ce sont les secteurs les plus à risque dans l'industrie et surtout les plus faciles à identifier.
- Ensuite, les coûts induits par les émissions directes ne constituent qu'une part des coûts totaux liés à une taxe carbone pour l'industrie. En premier lieu, la hausse potentielle des prix de l'électricité peut avoir des conséquences majeures sur la compétitivité des industries très intensives en électricité, surtout dans les pays où la production d'électricité émet beaucoup de CO<sub>2</sub>. Puis, la hausse du prix des biens intermédiaires peut également constituer une part très significative de l'impact de la taxe carbone sur la compétitivité de la plupart des industries européennes. Pour trois quarts des secteurs, la hausse du prix des biens intermédiaires constitue la moitié de l'augmentation du prix des produits industriels. Les mécanismes menant à une augmentation du prix des produits industriels, et donc à une perte potentielle de compétitivité, sont très variés parmi les secteurs. Il est donc essentiel de tenir compte de toutes ces sources d'augmentation des prix pour la mise en place d'une politique environnementale.
- Enfin, des effets distributifs très inégaux existent aussi parmi les industries nationales des pays européens. Au regard des différences de pression fiscale liées à une taxe carbone entre les industries des pays européens, les écarts de compétitivité peuvent être aussi importants entre les pays européens que par rapport aux pays hors-UE. Or, pour une grande partie des secteurs industriels, la concurrence se situe encore majoritairement en Europe. La mise au point et les négociations autour d'une politique environnementale européenne doivent donc tenir compte des inégalités distributives d'une taxe carbone sur l'industrie.

L'étude de l'énergie et du CO<sub>2</sub> contenus dans les produits manufacturés ouvre un large domaine d'analyse pour étudier les problématiques de compétitivité liées aux prix de l'énergie et aux contraintes environnementales dans l'industrie. Ce type d'analyse permet en effet d'aborder de façon quantifiée la complexité des interdépendances entre secteurs industriels au niveau international. Cependant, le modèle entrées-sorties développé ici peut encore être amélioré en incluant notamment les autres secteurs de l'économie. Le principal frein à ce type d'extension est la disponibilité des données. Il semble également possible de poursuivre ces travaux avec une approche dynamique de l'énergie grise.

## CONCLUSION GENERALE

**L**a transition vers un nouveau paradigme énergétique semble imminente et devra être menée en parallèle à une détérioration de la compétitivité industrielle en France et dans de nombreux pays européens. Cependant, la  **Crainte d'une perte de compétitivité industrielle** est au cœur des débats sur de nouvelles politiques énergétiques et environnementales. **Quels sont alors les effets d'une asymétrie entre pays des prix de l'énergie et des réglementations environnementales sur la compétitivité de l'industrie manufacturière ?** Quels sont les déterminants de la compétitivité des industries grandes consommatrices d'énergie et où se situe la place de l'énergie parmi ces facteurs ? Quelle est la place de l'énergie et du CO<sub>2</sub> dans la chaîne de valeur industrielle internationale ?

Seule une partie des secteurs industriels sont directement dépendants des prix de l'énergie, ce sont les **industries à grande consommation d'énergie (IGCE)**. Afin d'étudier les effets des prix de l'énergie sur ces secteurs, il est nécessaire de **restreindre la notion de compétitivité à celle d'une industrie nationale sur le court-terme et de sites de production sur le long-terme**. Deux secteurs IGCE sont étudiés en détail : l'industrie du papier et la sidérurgie. La principale contribution de cette partie de la thèse est de quantifier l'effet de l'énergie sur la compétitivité des IGCE et de le pondérer par rapport aux autres déterminants de la concurrence.

**Trois méthodes économétriques, en données de panel**, sont développées pour étudier le comportement de ces deux industries face à l'évolution des prix de l'énergie. Comme la compétitivité est un concept relatif, l'étude s'étend sur une trentaine de pays dans le monde, entre 1995 et 2006. Un modèle de gravité permet d'étudier les **échanges internationaux de produits manufacturés** et d'analyser la déviation qu'implique une asymétrie des coûts de l'énergie sur les flux bilatéraux de papier et d'acier. Ensuite, une modèle « Time-Series Cross-Section » (TSCS) analyse la **localisation de la production** des produits à travers les pays. Cette étude permet notamment de comparer le rôle des coûts de l'énergie à d'autres facteurs de la compétitivité industrielle. Enfin, pour la sidérurgie uniquement, des travaux sur les **changements de capacité dans les usines et sur la durée de vie des fours à arc électrique** déterminent l'impact des caractéristiques propres à chaque site de production, en plus de ceux des prix de l'énergie.

Les résultats de ces études apportent trois conclusions majeures sur le rôle de l'énergie dans la compétitivité des industries du papier et de l'acier :

- Une hausse des coûts de l'énergie induite par une hausse des prix de l'énergie ou par une baisse de l'efficacité énergétique, **diminue les exportations de papier et d'acier** d'un pays et donc sa compétitivité internationale. Par exemple, dans l'industrie du papier, une hausse 1 % du ratio des coûts de l'électricité, entre le pays exportateur et le pays importateur, implique une diminution des exportations du pays exportateur de 0.09 %. Une hausse similaire du ratio des coûts des combustibles implique une baisse de 0.14 % des exportations.
- **Les coûts de l'énergie déterminent à la fois le niveau relatif de production et de compétitivité des industries nationales et l'évolution de ce niveau dans un pays au cours du temps**. Cependant, cette influence reste modérée vis-à-vis d'autres facteurs de compétitivité tels que la proximité des marchés, la productivité et les salaires. Par exemple, dans la sidérurgie, une moyenne sur deux ans des coûts de l'énergie supérieure de 1 % à la

moyenne internationale diminue d'environ 0.33 % la production nationale d'acier d'un pays par rapport aux autres pays.

- **Les changements de capacité dans l'industrie sidérurgique sont également influencés par les prix de l'énergie.** Des prix élevés de l'énergie par rapport à la concurrence ne représentent pas le facteur principal des choix de localisation de la production ou des capacités, mais amplifient les problèmes de compétitivité des sites sidérurgiques qui sont déjà dans une situation défavorable. Notamment, dans la sidérurgie, des prix de l'électricité supérieurs d'un écart-type à la moyenne internationale impliquent un risque de fermeture annuel deux fois supérieur à la moyenne pour un four à arc électrique.

Ces travaux économétriques permettent également de quantifier et de comparer les effets des coûts de l'énergie par rapport aux autres déterminants de la compétitivité. Pour les deux IGCE étudiées, **la localisation de la production reste fortement liée à la proximité de la demande.** L'importance des coûts de transport du papier et de l'acier, les spécificités des demandes nationales, le besoin de relations améliorées avec les acheteurs expliquent l'importance de la demande locale. L'influence forte de la demande domestique diminue les craintes d'une potentielle délocalisation massive dans les IGCE qui serait liée aux seules différences de coûts de production. **La principale tendance est à la régionalisation de la production et de la demande** plutôt qu'à une mondialisation complète.

**Les différences de salaires sont également un élément majeur de la localisation de la production,** même pour deux industries peu intensives en main d'œuvre. Ce n'est pas tant l'effet marginal des salaires qui importe mais l'écart majeur des salaires entre les pays. Il semble alors difficile d'améliorer ce déterminant de la compétitivité, sans réduire d'un ordre de grandeur les salaires dans les pays développés. La productivité et la formation des salariés sont des facteurs beaucoup plus dépendants des actions des acteurs industriels et qui impliquent des effets très positifs sur la compétitivité. **L'investissement joue donc un rôle prépondérant dans l'évolution de la compétitivité des industries nationales du papier et de l'acier.** L'impact des matières premières dépend fortement du secteur. L'abondance des ressources est cruciale dans l'industrie du papier mais peu significative pour la sidérurgie. Enfin, des caractéristiques propres aux usines affectent fortement la compétitivité des sites industriels dans la sidérurgie. **La taille des capacités de production et leur âge technique différencient fortement les usines et les fours à l'intérieur d'un même pays.**

L'étude empirique du comportement des industries nationales du papier et de l'acier, par l'intermédiaire des observations historiques, démontre donc le rôle de l'énergie sur les exportations, la localisation de la production et sur les investissements et fermetures de sites de production. Néanmoins, ces secteurs, intensifs en énergie et grands émetteurs de gaz à effet de serre, ne sont pas isolés du reste de l'industrie manufacturière. Les IGCE sont en amont de la chaîne de valeur industrielle. Dès lors, une hausse des prix de l'énergie, ou l'instauration d'une contrainte environnementale, affecte les coûts de production de ces industries et donc le prix des biens intermédiaires pour l'ensemble de l'industrie. **Une variation des prix de l'énergie, ou une taxe environnementale, ne concerne pas uniquement les IGCE, mais la compétitivité de toute l'industrie manufacturière.**

Cependant, l'industrie est désormais de plus en plus globalisée, fragmentée aux niveaux européen et mondial. La chaîne de valeur industrielle est répartie sur plusieurs pays, ainsi que la consommation d'énergie. **La compétitivité des secteurs industriels en aval de cette chaîne dépend donc de l'évolution à la fois nationale et internationale des prix de l'énergie.** Pour analyser cette

dépendance, une analyse de l'énergie et du dioxyde de carbone contenus dans les produits manufacturés, « énergie grise », est réalisée à partir de calculs matriciels sur les tableaux entrées-sorties des comptes nationaux. Cette étude intègre les interdépendances entre secteurs industriels et entre pays dans l'industrie manufacturière mondiale, avec un niveau de détail élevé pour l'industrie européenne. Une nouvelle cartographie des flux d'énergie contenus dans les produits manufacturés complète alors les connaissances actuelles sur la répartition des consommations d'énergie. Ces flux d'énergie ou de CO<sub>2</sub> « cachés » représentent des quantités très significatives. **Ainsi, l'énergie contenue dans les produits manufacturés importés dans l'Union européenne (3 160 TWh) en 2005, équivaut à environ 75 % de la consommation totale d'énergie de l'industrie européenne.** Il est alors possible d'estimer la dépendance de la compétitivité de chaque secteur industriel, à l'évolution des prix de l'énergie dans le monde, ou à l'instauration d'une taxe environnementale. Inversement, les résultats de ces travaux sur les tableaux entrées-sorties permettent de prévoir l'effet d'un changement de la structure industrielle sur la consommation d'énergie dans chaque pays.

Ces résultats sur l'énergie et le CO<sub>2</sub> contenus dans les produits manufacturés peuvent être utilisés dans diverses applications. Notamment, il est possible d'évaluer **l'impact distributif de l'instauration d'une taxe carbone de 20€/tCO<sub>2</sub>**, couvrant toute l'industrie européenne et remplaçant le système actuel des quotas d'émissions (EU-ETS). Cette étude peut également être réalisée pour évaluer la répartition de l'impact d'une hausse des prix de l'énergie dans un ou plusieurs pays. Il est supposé dans cette étude que le taux de transfert des coûts est complet et que les industries ne peuvent pas diminuer leurs émissions de CO<sub>2</sub>. Cela s'apparente alors à une situation de concurrence parfaite dans le court-terme. Les résultats de cette étude peuvent être utiles au débat actuel sur une redistribution optimale des revenus obtenus par les gouvernements à partir de la taxe ou par la mise aux enchères de quotas d'émissions (« revenue-recycling »). Les principales conclusions de cette application sont les suivantes :

- D'abord, **le coût de la taxe lié aux émissions directes des secteurs industriels n'affecte essentiellement qu'une petite partie des industries** telles que les minéraux non métalliques, la sidérurgie, la chimie de base et le papier. Ce sont les secteurs les plus à risque dans l'industrie et surtout les plus faciles à identifier.
- Ensuite, **les coûts induits par les émissions directes ne constituent qu'une part des coûts totaux liés à une taxe carbone pour l'industrie.** En premier lieu, la hausse potentielle des prix de l'électricité peut avoir des conséquences majeures sur la compétitivité des industries très intensives en électricité, surtout dans les pays où la production d'électricité émet beaucoup de CO<sub>2</sub>. Puis, la hausse du prix des biens intermédiaires peut également constituer une part très significative de l'impact de la taxe carbone sur la compétitivité de la plupart des industries européennes.
- Enfin, **des effets distributifs très inégaux existent aussi parmi les industries nationales des pays européens.** Au regard des différences de pression fiscale liées à une taxe carbone entre les industries des pays européens, les écarts de compétitivité peuvent être aussi importants entre les pays européens que par rapport aux pays hors-UE. Or, pour une grande partie des secteurs industriels, la concurrence se situe encore majoritairement en Europe. La mise au point et les négociations autour d'une politique environnementale européenne doivent donc tenir compte des inégalités distributives d'une taxe carbone sur l'industrie.



## **CONSEQUENCES**

Les travaux de cette thèse impliquent des conséquences dans deux domaines : la politique industrielle et la politique énergétique. Dans le premier cas, **pour la politique industrielle**, l'identification et la pondération des déterminants de la compétitivité dans les industries de l'acier et du papier, amènent aux points suivants pouvant éventuellement s'étendre à tous les secteurs IGCE :

- **Le risque de désindustrialisation dans les industries grandes consommatrices d'énergie en Europe est limité par l'importance de la proximité de la demande dans la localisation de ces industries.** L'influence de la demande domestique sur la localisation de la production des industries du papier et de l'acier est beaucoup plus forte que celle des autres facteurs de compétitivité tels que les salaires, la productivité ou les coûts de l'énergie. Les IGCE évoluent donc avant tout en fonction des variations de la demande locale.
- Cependant, **l'évolution technologique des moyens de production et l'ouverture des marchés européens impliquent une régionalisation de la production de ces secteurs.** Auparavant, une IGCE produisait principalement pour le marché national. Désormais, les anciens sites de petites ou moyennes tailles, à part dans les marchés de niche, ferment au profit de grandes usines fournissant une grande partie du marché européen et profitant d'économies d'échelle importantes. La capacité de production totale de ces industries reste stable mais se concentrent sur moins de sites. On assiste donc à une régionalisation de la production des IGCE, plus qu'à une mondialisation. L'industrie est désormais européenne, une politique de compétitivité industrielle uniquement nationale semble désormais inadaptée.
- **Les prix de l'énergie affectent la compétitivité industrielle des IGCE, mais ne semblent pas pouvoir provoquer une perte majeure de compétitivité.** Leur impact reste modéré sauf en cas d'augmentation très importante. Des prix élevés de l'énergie apparaissent plus comme des catalyseurs de fermetures, ou de baisses, des capacités de production lorsque la situation compétitive est déjà fragile.
- **Dans la sidérurgie et l'industrie du papier, la productivité des usines en Europe de l'Ouest prend du retard sur la concurrence internationale.** Par exemple, l'industrie papetière Scandinave profite d'une productivité plus élevée pour améliorer sa compétitivité internationale, malgré un coût du travail supérieur à la moyenne. **Des investissements importants sont nécessaires pour moderniser les infrastructures, parfois vieillissantes, dans les IGCE d'Europe de l'Ouest et pour former le personnel.** Une modernisation des équipements de production permettrait également de réduire la consommation d'énergie ainsi que les émissions de gaz à effet de serre de ces secteurs. La difficulté de l'accès aux capitaux de long terme constitue actuellement le principal obstacle à ces investissements. La saturation et la stagnation de la demande européenne dans les produits des IGCE est également un frein à ces investissements.
- **Une compétition sur les coûts du travail ne peut se faire qu'aux dépens des autres pays européens dans les IGCE.** Il n'est cependant pas certains qu'une telle politique soit avantageuse dans le long terme pour l'industrie européenne. En effet, une hausse des salaires induit une perte de compétitivité relativement modérée dans les IGCE. C'est surtout l'écart immense des salaires avec les pays émergents qui donne un rôle significatif à ce facteur. Or, il n'est pas envisageable de pouvoir concurrencer ces pays sur cet aspect de la compétitivité sans diviser les salaires par deux ou plus. L'élaboration d'objectifs communs, d'une



coopération européenne sur une stratégie commerciale cohérente face aux autres continents semble plus fructueuse. Dans le cas contraire, la concurrence sur les prix entre pays européens affecte principalement les capacités d'investissement et de modernisation des usines.

**Au niveau d'une politique énergétique**, l'analyse des effets d'une asymétrie des prix de l'énergie ou d'une régulation environnementale ainsi que la description des interdépendances énergétiques entre secteurs industriels et entre pays soulèvent les points suivants :

- **Il est possible de mettre en place des politiques énergétiques ou environnementales augmentant les prix de l'énergie ou du CO<sub>2</sub>, sans pour autant remettre en cause la compétitivité industrielle européenne.** Les prix de l'énergie ont un rôle modéré sur la compétitivité des IGCE. La quantification des effets sur la compétitivité des IGCE d'une augmentation des prix de l'énergie permet d'optimiser les coûts et bénéfices de telles politiques.
- **Une hausse des prix ou l'instauration d'une contrainte environnementale ne concernent pas uniquement la compétitivité des IGCE, mais également celle de l'industrie manufacturière dans son ensemble par l'augmentation potentielle du prix des biens intermédiaires.** Cet effet indirect est significatif pour de nombreux secteurs industriels, il est nécessaire de le prendre en compte dans les analyses d'impact. Notamment, ces travaux peuvent être utiles pour déterminer la redistribution des revenus d'une taxe environnementale ou de la mise aux enchères des quotas d'émission.
- **La compétitivité de l'industrie manufacturière ne dépend pas uniquement des prix domestiques de l'énergie, mais également des prix dans les autres pays.** Ainsi, les prix domestiques de l'énergie ne représentent que la moitié de la dépendance des industries à l'énergie. Ce taux est bien plus élevé pour les IGCE, mais souvent plus faible dans les secteurs en aval de la chaîne de production industrielle. Ainsi, en Europe, les deux tiers de l'énergie contenue dans les produits de l'industrie pharmaceutique ou des industries du transport ont été consommés hors des frontières nationales. Afin de traiter au mieux la problématique de la compétitivité industrielle par rapport à l'énergie, il est alors plus pertinent de développer une politique européenne commune, « *a European geo-energy space* » (Mañé-Estrada, 2006), pour protéger l'approvisionnement en énergie et encourager des prix compétitifs de l'énergie, que de mettre en place des actions uniquement nationales aux dépens des autres pays européens. Néanmoins, d'autres facteurs tendent à freiner la possibilité d'une telle politique commune comme la diversité des systèmes de production d'énergie ou l'existence d'objectifs commerciaux et politiques divergents.
- **L'instauration d'une politique environnementale européenne implique potentiellement des écarts de compétitivité importants entre les industries nationales des pays de l'Union européenne.** Le risque d'une perte de compétitivité industrielle pour certains pays européens peut être aussi important vis-à-vis des autres concurrents européens que par rapport aux pays hors de la zone européenne. Les négociations pour une politique environnementale européenne doivent prendre en compte ces situations très hétérogènes des industries nationales européennes face aux enjeux de compétitivité.

## **LIMITATIONS ET PERSPECTIVES DES TRAVAUX**

Les principales limitations qui apparaissent à l'issue de cette thèse constituent également les perspectives pour de nouveaux travaux sur la compétitivité des industries :

- i. Les résultats économétriques obtenus sont basés sur l'observation des données historiques entre 1995 et 2006. **Les élasticités issues des résultats ne peuvent s'appliquer à un autre contexte que si l'on suppose que les mécanismes économiques demeurent les mêmes.** Par exemple, il n'est pas possible de prévoir l'effet d'une hausse des prix de l'énergie si cette augmentation est deux fois plus élevée que celles observées dans les pays de l'échantillon durant la période étudiée. De même, il n'est pas possible d'effectuer une prévision de l'impact des prix de l'énergie sans utiliser un scénario cohérent pour les autres variables. Notamment, les études économétriques réalisées dans cette thèse ne tiennent pas compte de l'effet de la crise économique qui persiste depuis 2008. Les résultats peuvent donc difficilement s'appliquer à une situation de crise, ils sont mieux adaptés pour décrire une situation de stabilité économique.

Afin de mieux anticiper des évolutions plus générales de l'économie, il est préférable d'utiliser des modèles d'équilibre général ou partiel. **Les équations économétriques obtenues décrivant le comportement des industries IGCE par rapport aux exportations entre pays partenaires, à la localisation de la production ou aux changements de capacités des usines peuvent être intégrées dans ce type de modèles.** Ces équations définissent alors des mécanismes économiques de base qui se complètent à d'autres afin de former un modèle plus complexe. Par exemple, il peut être intéressant de lier ces équations économétriques sur le comportement des industries en fonction des coûts de l'énergie à un modèle de choix technologiques de type « bottom-up ». En effet, ces modèles décrivent très précisément les technologies disponibles dans chaque industrie et le choix des industriels en fonction des prix de l'énergie. Cependant, ces modèles considèrent souvent la demande comme un facteur exogène. En combinant les deux types d'études, il peut être possible d'évaluer la réponse technologique des acteurs industriels à une variation des prix de l'énergie et les coûts de production conséquents. On peut alors estimer l'impact sur la compétitivité de l'industrie étudiée de ces nouveaux coûts et donc le nouveau niveau de la demande.

Un modèle récursif peut ainsi être construit en tenant compte de l'impact économique des choix technologiques dans l'industrie. Par exemple, de nombreux modèles simulent l'évolution technologique nécessaire pour atteindre le critère « facteur 4 », c'est-à-dire la réduction par quatre des émissions de CO<sub>2</sub> d'ici 2050. Les résultats fournissent alors un scénario prospectif cohérent au niveau technique, mais il apparaît souvent que les coûts de production liés à de tels choix de procédés ne sont pas économiquement envisageables pour conserver un niveau de compétitivité raisonnable.

- ii. **Les travaux de cette thèse se limitent à l'étude de deux secteurs IGCE** parmi les grands secteurs identifiés en tant que grands consommateurs d'énergie : la sidérurgie, le papier, la chimie de base, les métaux non-ferreux, les minéraux non-métalliques, les industries agro-alimentaires, l'industrie du bois et celles du textile. Il n'est pas possible d'étendre les conclusions obtenues à toutes les IGCE sans faire de nouvelles suppositions.

**L'extension des travaux économétriques réalisés aux autres IGCE** permettrait alors de généraliser les résultats obtenus et de mieux identifier les différences propres à chaque secteur.

Cette extension peut également être utile à l'intégration des équations de compétitivité dans des modèles numériques comme décrits ci-dessus.

- iii. Comme décrit dans le premier chapitre de cette thèse, **la notion de compétitivité a été restreinte et seule une partie des facteurs pouvant affecter la compétitivité d'une industrie nationale a été sélectionnée et étudiée.** Cependant, la sélection d'un trop grand nombre de variables explicatives entraîne rapidement des problèmes de multicollinéarité dans les estimations économétriques.

Une perspective d'amélioration des travaux de cette thèse consiste à **améliorer la méthodologie économétrique utilisée afin d'intégrer plus de déterminants potentiels de la compétitivité industrielle**, tout en évitant l'introduction de biais d'estimation. Par exemple, il peut être pertinent d'utiliser des méthodes « Data Envelopment Analysis », DEA, pour mesurer l'efficacité productive des sites ou entreprises industriels. L'intégration de variables sur le comportement oligopolistique des acteurs ou sur l'importance de la qualité des produits industriels peut également apporter des informations pertinentes sur l'évolution de la compétitivité dans les IGCE.

- iv. **L'étude sur l'énergie contenue dans les produits manufacturés, sur l'énergie grise, n'est basée que sur une année. C'est une étude uniquement statique.** Il n'est donc pas possible de connaître l'évolution des flux d'énergie grise dans le monde depuis 2005. Or, cette période est marquée par l'explosion de la production industrielle dans les pays émergents, par l'accentuation de la fragmentation de la chaîne de production industrielle et par une crise économique majeure. Les données de 2005 ne reflètent donc plus totalement la situation actuelle dans l'industrie mondiale. De plus, seule l'industrie manufacturière est incluse dans l'étude des tableaux entrées-sorties. Une grande partie de l'économie est donc ignorée.

**Le développement d'une approche dynamique de l'énergie grise semble très prometteur, non seulement pour actualiser les données, mais aussi pour identifier et analyser les principales tendances dans les flux mondiaux.** Il serait alors possible d'identifier les raisons des changements d'intensité énergétique dans les pays, comme une meilleure efficacité énergétique, une modification de la fonction de production, une augmentation des importations ou un changement de la structure industrielle. En outre, l'extension des travaux entrées-sorties à d'autres secteurs que l'industrie manufacturière, comme les transports ou les services peut se révéler également très intéressant.

- v. **Enfin, des hypothèses importantes sont utilisées dans l'étude de l'impact distributif d'une taxe carbone sur l'industrie européenne.** Ce type d'étude peut également s'appliquer à une modification des prix de l'énergie dans un ou plusieurs pays. Notamment, on considère que le taux de transfert est complet et que les industries ne peuvent réagir. On est donc dans une situation de « pire cas ». Or, il est possible de modifier le taux de transfert pour chaque secteur industriel, mais la littérature économique ne permet pas de justifier d'un choix de taux de transfert particulier à chaque secteur.

**Il existe donc un besoin de travaux théoriques et empiriques sur le sujet de la détermination des taux de transfert dans l'industrie.** En effet, le taux de transfert des coûts de production sur les prix de vente est une notion de plus en plus utilisée dans les modèles et études de prévision de l'impact d'une contrainte environnementale sur l'industrie. Le choix du taux de transfert peut alors fortement modifier les résultats et les conclusions dans ces travaux, ils sont donc sujets à débat.

## **BIBLIOGRAPHIE**

- Afonso, A., Gomes, P. & Rother, P., 2009. Ordered response models for sovereign debt ratings. *Applied Economics Letters*, 16(8), pp.769-773.
- Agarwal, R. & Audretsch, D., 2001. Does entry size matter? The impact of the life cycle and technology on firm survival. *The Journal of Industrial Economics*, 49(1), pp.21-43.
- Aguilar, F., 2009. Spatial econometric analysis of location drivers in a renewable resource-based industry: The U.S. South Lumber Industry. *Forest Policy and Economics*, 11(3), pp.184-93.
- Aldy, J. & Pizer, W., 2009. The Competitiveness Impacts of Climate Change Mitigation Policies. *Pew Center on Global Climate Change*, Arlington, United States.
- Alvarez, R. & Görg, H., 2009. Multinationals and plant exit: Evidence from Chile. *International Review of Economics and Finance*, 18(1), pp.45-51.
- Ambrosi, P., 2012. L'avenir de plus en plus incertain du site d'ArcelorMittal de Florange. *Les Echos*, Paris, France.
- Andersen, M., 2009. Pricing of Carbon in Europe, in: Andersen, M. & Ekins, P. (Eds.), Carbon-Energy Taxation. *Oxford University Press*, Oxford, United Kingdom, pp.3-23.
- Andersen, M. & Ekins, P., 2009. Conclusions: Europe's Lessons from Carbon-Energy Taxation, in: Andersen, M. & Ekins, P. (Eds.), Carbon-Energy Taxation. *Oxford University Press*, Oxford, United Kingdom, pp.3-23.
- Anderson, J., 1979. A Theoretical Foundation for the Gravity Equation. *American Economic Review*, 69(1), pp.106-16.
- Andrew, R., Peters, G. & Lennox, J., 2009. Approximation and regional aggregation in multi-regional input-output analysis for national carbon footprint accounting. *Economic Systems Research*, 21(3), pp.311-35.
- ArcelorMittal, 2012. Mining for growth. *ArcelorMittal*, Luxembourg.
- Artus, P., D'Autume, A., Chalmin, P. & Chevalier, J., 2010. Les effets d'un prix du pétrole élevé et volatil. *Conseil d'Analyse Economique*, Paris, France.
- Ash, R. & Bursi, C., 2007. China and climate change : Impacts and policy responses. *DG Internal Policies of the Union*, Policy Department Economic and Scientific Policy, IP/A/CLIM/NT/2007-13, Brussels, Belgium.
- Atoche-Kong, C., Nuttal, W., Cobas-Flores, E. & Reiner, D., 2010. Embracing the opportunities of a carbon constrained world: Strategic options for global cement companies, in Van Geehuizen, M.,

- Nuttal, W., Gibson, D. & Oftedal, E. (Eds.), Energy and Innovation: Structural Change and Policy Implications. *Purdue University Press*, West Lafayette, United States, pp.311-43.
- Atkinson, G., Hamilton, K., Ruta, G. & Van Der Mensbrughe, D., 2011. Trade in 'virtual carbon': Empirical results and implications for policy. *Global Environmental Change*, 21(2), pp.563-74.
- Atkinson, J. & Manning, N., 1995. A survey of international energy elasticities, in Barker, T., Ekins, P. & Johnstone, N (Eds.), Global Warming and Energy Demand. *Routledge*, Oxford, United Kingdom, pp.73-131.
- Balassa, B., 1965. Trade Liberalisation and 'Revealed' Comparative Advantage. *The Manchester School*, 33(2), pp.99-123.
- Baldwin, J., 1995. The Dynamics of Industrial Competition. A North American Perspective. *Cambridge University Press*, Cambridge, United Kingdom.
- Barker, T., Ekins, P. & Johnstone, N., 1995. Global Warming and Energy Demand. *Routledge*, Oxford, United Kingdom.
- Barker, T., Junankar, S., Pollitt, H. & Summerton, P., 2009. The Effects of Environmental Tax Reform on International Competitiveness in the European Union: Modelling with E3ME, in Andersen, M. & Ekins, P. (Eds.), Carbon-Energy Taxation. Lessons from Europe. *Oxford University Press*, Oxford, United Kingdom, pp.147-240.
- Baron, R., 1997. Economic/Fiscal instruments: Competitiveness issues related to carbon/energy taxation. *OECD*, Paris, France.
- Bartik, T., 1988. The effects of environmental regulations on business location in the United States. *Growth and Change*, 19(3), pp.22-44.
- Bartik, T., 1989. Small business start-ups in the United States: Estimates of the effects of characteristics of states. *Southern Economic Journal*, 55(4), pp.1004-18.
- Basile, R., Castellani, D. & Zanfei, A., 2008. Location choice of multinational firms in Europe: The role of EU cohesion policy. *Journal of International Economics*, 74(2), pp.328-40.
- Bassi, A., Yudken, J. & Ruth, M., 2009. Climate policy impacts on the competitiveness of energy-intensive manufacturing sectors. *Energy Policy*, 37(8), pp.3052-60.
- Baum, C., 2000. XTTEST3 : Stata module to compute Modified Wald statistic for groupwise heteroskedasticity. *Statistical Software Components*, Boston College Department of Economics, Chestnut Hill, United States.
- BCG, 2007. Beyond the Boom. The outlook for Global Steel. *The Boston Consulting Group*, Boston, United States.

- Becker, R. & Henderson, V., 2000. Effects of air quality regulations on polluting industries. *Journal of Political Economy*, 108(2), pp.379-421.
- Beck, N. & Katz, N., 1995. What to do (and not to do) with Time-Series Cross-Section Data. *The American Political Science Review*, 89(3), pp.634-47.
- Beeson, P. & Giarratani, F., 1998. Spatial aspects of capacity change by U.S. integrated steel producers. *Journal of regional science*, 38(3), pp.425-44.
- Belkin, P., 2008. CRS Report for Congress. The European Union Energy Security Challenges. *Congressional Research Service*, Washington, United States.
- Berglund, C. & Söderholm, P., 2003. An Econometric Analysis of Global Waste Paper Recovery and Utilization. *Environmental and Resource Economics*, 26(3) pp.429-56.
- Bergman, M. & Johansson, P., 2002. Large investments in the pulp and paper industry: a count data regression analysis. *Journal of Forest Economics*, 8(1), pp.29-52.
- Bergstrand, J., 1985. The Gravity Equation in International Trade: Some Microeconomics Foundations and Empirical Evidence. *Review of Economic and Statistics*, 67(3), pp.474-81.
- Bergstrand, J., 1989. The Generalized Gravity Equation, Monopolistic Competition, and the Factor-Proportions Theory in International Trade. *Review of Economic and Statistics*, 71(1), pp.143-53.
- Berrie, T. & Hoyle, M., 1985. Treating energy as a commodity. *Energy Policy*, 13(6), pp.506-10.
- Berthou, A. & Crozet, M., 2011. Les ressorts de la compétitivité, in CEPII (Eds.), L'économie mondiale 2012. *La Découverte*, Paris, France, pp.106-18.
- Binns, V., 2012. Developments in the coking coal market. *Bhpbilliton*, Beijing, China.
- Bjornskov, C., Dreher, A. & Fischer, J., 2010. Formal institutions and subjective well-being: Revisiting the cross-country evidence. *European Journal of Political Economy*, 26(4), pp.419-30.
- Blair, J. & Premus, R., 1987. Major Factors in Industrial Location: A Review. *Economic Development Quarterly*, 1(1), pp.72-85.
- Blomberg, J., 2007. Essays on the Economics of the Aluminium Industry. Doctoral thesis. *Lulea University of Technology*, Lulea, Sweden.
- Blonigen, B., Liebman, B. & Wilson, W., 2009. Trade Policy and Plant Exits in the Steel Industry. *University of Oregon*, Eugene Oregon, USA.
- Bohi, D., 1989. Energy Price Shocks and Macroeconomic Performance. *Resource for the Future*, Washington, United States.
- Bonnefoi, B. & Buongiorno, J., 1990. Comparative advantage of countries in forest-products trade. *Forest Ecology and Management*, 36(1), pp.1-17.



- Boone, L., Hall, S., Kemball-Cook, D. & Smith, C., 1995. Endogenous technological progress in fossil fuel demand, in Barker, T., Ekins, P. & Johnstone, N. (Eds.), *Global Warming and energy demand*. Routledge, Oxford, United Kingdom, pp.222-57.
- Bourbonnais, R., 2009. *Econométrie*. 7th ed. Dunod, Paris, France.
- BP, 2012. *BP Statistical Review of World Energy*. BP, London, United Kingdom.
- Breusch, T. & Pagan, A., 1979. A Simple Test for Heteroscedasticity and Random Coefficient Variation. *Econometrica*, 47(5), pp.1287-94.
- Browne, T., 2006. Energy Benchmarking in Pulp and Paper Mills, in *Energy Efficient Technologies and CO2 Reduction Potentials in the Pulp and Paper Industry Conference*. IEA, Paris, France.
- Brunnermeier, S. & Levinson, A., 2004. Examining the Evidence on Environmental Regulations and Industry Location. *Journal of Environment and Development*, 13(1), pp.6-41.
- Bureau, D. & Mougeot, M., 2004. Politiques environnementales et compétitivité. *Conseil d'Analyse Economique*, Paris, France.
- Burniaux, J., Martin, J., Nicoletti, G. & Martins, J., 1991. The costs of policies to reduce global emissions of CO<sub>2</sub>; initial simulation results with GREEN. *OECD*, Paris, France.
- Caramel, L., 2011. Climat : un accord à Durban pour un nouveau pacte mondial en 2015. *Le Monde*, Paris, France.
- Carlton, D. & Perloff, J., 2008. *Economie industrielle*. 2<sup>nd</sup> ed. De Boeck, Brussels, Belgium.
- Caves, R. & Jones, R., 1973. *World trade and payments: an introduction*. Little, Brown and Company, Boston, United States.
- CEPI, 2005. Competitiveness and Europe's Pulp and Paper Industry : The State of Play. *Confederation of European Paper Industries*, Brussels, Belgium.
- CEPII, 2011. *L'économie mondiale 2012*. La Découverte, Paris, France.
- Chen, M., 2002. Survival duration of plants: Evidence from the US petroleum refining industry. *International Journal of Industrial Organization*, 20(4), pp.517-55.
- Church, J. & Ware, R., 2000. *Industrial Organization*. McGraw-Hill, Columbus, United States.
- Cleves, M., Gutierrez, R.G., Gould, W. & Marchenko, Y.V., 2010. *An Introduction to Survival Analysis Using Stata*. 3rd ed. STATA Press, College Station, United States.
- Coe-Rexecode, 2009. La compétitivité française en 2009. Document de travail n°14. *Coe-Rexecode*, Paris, France.
- Coface, 2011. *Le secteur du papier-carton dans le monde et en France*. Coface, Paris, France.



- Cohen, E. & Lorenzi, J., 2000. Politiques industrielles pour l'Europe. *Conseil d'analyse économique*, Paris, France.
- Commission des communautés européennes, 2002. Productivité : la clé de la compétitivité des économies et entreprises européennes. *Commission des communautés européennes*, COM/2002/0262, Brussels, Belgium.
- Commission européenne, 2010. Antitrust : la Commission ouvre une procédure à l'égard de plusieurs cimentiers. IP/10/1696. *Commission Européenne*, Bruxelles, Belgique.
- Conférence Nationale de l'Industrie, 2010. Etats Généraux de l'Industrie. *Ministère de l'économie, de l'industrie et de l'emploi*, Paris, France.
- Conseil européen, 2003. Directive 2003/96/CE du Conseil du 27 Octobre 2003 restructurant le cadre communautaire de taxation des produits énergétiques et de l'électricité. *Conseil Européen*, Bruxelles, Belgique.
- Cooper, R., J., H. & Power, L., 1999. Machine replacement and the business cycle: Lumps and bumps. *American Economic Review*, 89(4), pp.921-46.
- COPACEL, 2010. L'industrie papetière. *Copacel*, Paris, France.
- Costantini, V. & Mazzanti, M., 2012. On the green and innovate side of trade competitiveness ? The impact of environmental policies and innovation on EU exports. *Research Policy*, 41(1), pp.132-53.
- Cox, D., 1972. Regression Models and Life Tables (with Discussion). *Journal of the Royal Statistical Society*, 34(2), pp.187-220.
- Cox, D. & Snell, E., 1968. A general definition of residuals. *Journal of Royal Statistical Society*, 30(2), pp.248-75.
- CPCI, 2009. L'état de l'industrie 2008-2009. *Ministère de l'économie, de l'industrie et de l'emploi*, Paris, France
- Crompton, P. & Lesourd, J., 2008. Economies of scale in global iron-making. *Resources Policy*, 33(2), pp.74-82.
- Crozet, M., Mayer, T. & Mucchielli, J., 2004. How do firms Agglomerate? A study of FDI in France. *Regional Science and Urban Economics*, 34(1), pp.24-54.
- CRU, 2011. Costs of steelmaking and hot-strip rolling. Plant Cost Profiles 2008-2010. *CRU*, London, United Kingdom.
- Davis, S. & Caldeira, K., 2010. Consumption-based accounting of CO emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(12), pp.5687-92.
- Davis, S., Peters, G. & Caldeira, K., 2011. The supply chain of CO2 emissions.. *Proceedings of the*

- National Academy of Sciences*, 108(45), pp.18554-59.
- Debonneuil, M. & Fontagné, L., 2003. Compétitivité. *Conseil d'Analyse Economique*, Paris, France.
- De Crombrughe, D. et al., 2009. Institutional Profiles Database III. *Direction générale du trésor et de la politique économique*, Paris, France.
- De Hoyos, R. & Sarafidis, V., 2006. Testing for cross-sectional dependence in panel-data models. *The Stata Journal*, 6(4), pp.482-96.
- Deily, M., 1988. Exit Barriers in the Steel Industry. *Economic Review. Federal Reserve Bank of Cleveland*, Cleveland, United States.
- Deily, M., 1991. Exit Strategies and Plant-Closing Decisions: The Case of Steel. *The RAND Journal of Economics*, 22(2), pp.250-63.
- Demailly, D., 2007. Compétitivité et fuites de carbone dans l'industrie sous politique climatique asymétrique. Thèse. *Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement*, Paris, France.
- Demailly, D. et al., 2007. Differentiation and Dynamics of European Union Emission Trading Scheme Competitiveness Impacts. *Climate Strategies*, London, United Kingdom.
- Demailly, D. & Quirion, P., 2006. CO2 abatement, competitiveness and leakage in the European cement industry under the EU ETS: grandfathering versus output-based allocation. *Climate Policy*, 6(1), pp.93-113.
- Demailly, D. & Quirion, P., 2008. European Emission Trading Scheme and competitiveness: A case study on the iron and steel industry. *Energy Economics*, 30(4), pp.2009-27.
- Demmou, L., 2010. La désindustrialisation en France. *Direction générale du trésor et de la politique économique*, Paris, France.
- Diesen, M., 2007. Economics of the Pulp and Paper Industry. *Finnish Paper Engineers' Association*, Helsinki, Finland.
- Dimara, E., Skuras, D., Tsekouras, K. & Tzelepis, D., 2008. Productive efficiency and firm exit in food sector. *Food Policy*, 33(2), pp.185-96.
- Directorate-General Enterprise & Industry, 2008a. Study on the Competitiveness of the European Steel Sector. *European Commission*, Brussels, Belgium.
- Directorate-General Enterprise & Industry, 2008b. FWC Sector Competitiveness Studies - Competitiveness of the Glass Sector. *European Commission*, Brussels, Belgium.
- Directorate-General Enterprise & Industry, 2011. Competitiveness of the EU Non-ferrous Metals Industries. *European Commission*, Brussels, Belgium.

- Disney, R., Haskel, J. & Heden, Y., 1999. Entry, Exit and Establishment Survival in UK Manufacturing. *Centre for research on globalisation and labour markets*, Nottingham, United Kingdom.
- Djemaa, A., 2009. Modélisation Bottom-Up, un outil d'aide à la décision long terme pour les mesures politiques en matière d'énergie et d'environnement - Le modèle TIMES appliqué aux industries grandes consommatrices d'énergie (IGCE). Thèse. *Mines ParisTech*, Paris, France.
- Drukker, D., 2003. Testing for serial correlation in linear panel-data models. *Stata Journal*, 3(2), pp.168-77.
- Dubois, J. & Le Blanc, G., 2012. ArcelorMittal : "Il est certain que des usines vont fermer". *TF1 News*, Paris, France.
- Duffy, N., 1994. The determinants of State Manufacturing Growth Rates: A Two-Digit-Level analysis. *Journal of Regional Science*, 34(2), pp.137-62.
- Dunne, T., Klimek, S. & Roberts, M., 2005. Exit from regional manufacturing markets: The role of entrant experience. *International Journal of Industrial Organization*, 23(5-6), pp.399-421.
- Dunne, T., Roberts, M. & Samuelson, L., 1988. Patterns of firm entry and exit in US manufacturing industries. *RAND Journal of Economics*, 19(4), pp.495-515.
- Dunning, J., 2000. The eclectic paradigm as an envelope for economic and business theories of MNE activity. *International Business Review*, 9(2), pp.163-90.
- Eaton, J. & Kortum, S., 2002. Technology, Geography and Trade. *Econometrica*, 70(5), pp.1741-79.
- Ecorys, 2008. Study on the Competitiveness of the European Steel Sector. *Directorate-General Enterprise & Industry*, Brussels, Belgium.
- Ecorys, 2009. Study on European Energy Intensive Industries - The Usefulness of Estimating Sectoral Price Elasticities. *Directorate-General Enterprise & Industry*, Brussels, Belgium.
- EIA, 2012a. International Energy Statistics. *U.S. Department of Energy*, Washington, United States. [Online] Available at: <http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/iedindex3.cfm?tid=90&pid=44&aid=8&cid=regions&syid=1990&eyid=2010&unit=MMTCD>.
- EIA, 2012b. Average Retail Price of Electricity to Ultimate Customers. *U.S. Department of Energy*, Washington, United States. [Online] Available at: <http://www.eia.gov/electricity/data.cfm#sales>
- Ekins, P., 1995. Revisiting the costs of CO2 abatement, in Barker, T., Ekins, P. & Johnstone, N. (Eds.), *Global Warming and Energy Demand*. *Routledge*, Oxford, United Kingdom, pp.319-46.
- Enerdata, 2010. Global Energy & CO2 Data. *Enerdata*, Grenoble, France. [Online] Available at:

<http://www.enerdata.net/>.

Enerdata, 2012. Odyssee Database on energy efficiency indicators. *Enerdata*, Grenoble, France [Online] Available at: [http://odyssee.enerdata.net/nrd\\_web/site/](http://odyssee.enerdata.net/nrd_web/site/).

Erkel-Rousse, H. & Le Gallo, F., 2002. Product quality, national trade performances, and the estimation of trade price-elasticities: An empirical analysis on twelve industrialised countries. *Economie et Prévision*, 152/153, pp.93-113.

Eurofer, 2010. Eurofer notifies Commission on possible anti-Competitive. *Eurofer*, Brussels, Belgium.

European Commission, 2007. High Level Group on the competitiveness of the European Chemicals Industry. Energy, Feedstock, Infrastructure and Logistics. Conclusions of the Discussions. *European Commission*, Brussels, Belgium.

European Commission, 2008a. Global Europe. EU performance in the global economy. *European Commission*, Brussels, Belgium.

European Commission, 2008b. Second Strategic Energy Review. *European Commission*, Brussels, Belgium.

European Commission, 2008c. Provisional non-confidential version of the Commission decision of 12 November 2008. Case COMP/39125 - Carglass. *European Commission*, Brussels, Belgium.

European Commission, 2009. Commission Decision of 24 December 2009 determining, pursuant to Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council, a list of sectors and subsectors which are deemed to be exposed to a significant risk of carbon leakage. *European Commission*, Brussels, Belgium.

European Commission, 2011. Energy taxation: Commission promotes energy efficiency and more environmental friendly products. Press release. *European Commission*, Brussels, Belgium.

European Environment Agency, 2011. Annual European Union Greenhouse Gas Inventory 1990-2009 and Inventory Report 2011. *European Environment Agency*, Brussels, Belgium.

Eurostat, 2009. Symmetric Input-Output Tables. *Eurostat*, Luxembourg. [Online] Available at: [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/esa95\\_supply\\_use\\_input\\_tables/methodology/symmetric\\_input\\_output\\_tables](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/esa95_supply_use_input_tables/methodology/symmetric_input_output_tables).

Eurostat, 2012a. Statistiques annuelles détaillées sur l'industrie. *Eurostat*, Luxembourg . [Online] Commission européenne, Available at: [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/european\\_business/data/database](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/european_business/data/database).

Eurostat, 2012b. Statistiques conjoncturelles sur les entreprises. *Eurostat*, Luxembourg. [Online] Available at:

- [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/short\\_term\\_business\\_statistics/data/database](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/short_term_business_statistics/data/database).
- Faff, R. & Brailsford, T., 1999. Oil price risk and the Australian stock market. *Journal of Energy finance and Development*, 4(1), pp.69-87.
- Fagerberg, J., Srholec, M. & Knell, M., 2007. The Competitiveness of Nations: Why Some Countries Prosper While Others Fall Behind. *World Development* 35(10), pp.1595-1620.
- FAOSTAT, 2010. FAOSTAT Forestry. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma, Italy. [Online] Available at: <http://faostat.fao.org/site/630/default.aspx>.
- Ferragina, A., Pittiglio, R. & Reganati, F., 2011. Multinational status and firm exit in the Italian manufacturing and service sectors. *Structural Change and Economics Dynamics*. In Press
- Fleiter, T., Fehrenbach, D., Worrel, E. & Eichhammer, W., 2012. Energy efficiency in the German pulp and paper industry - A model-based assesment of saving potentials. *Energy*, 40(1), pp.84-99.
- Fontagné, L. & Gaulier, G., 2008. Performances à l'exportation de la France et de l'Allemagne. *Conseil d'Analyse Economique*, Paris, France.
- Fontagné, L. & Lorenzi, J., 2005. Désindustrialisation, délocalisations. *Conseil d'Analyse Economique*, Paris, France.
- Fontagné, L. & Mayer, T., 2005. Determinants of Location Choices by Multinational Firms: A Review of the Current State of Knowledge. *Applied Economics Quarterly*, 51, pp.9-34.
- Fontagné, L., Pajot, M. & Pasteels, J., 2001. Potentiels de commerce entre économies hétérogènes : un petit mode d'emploi des modèles de gravité. Document de recherche appliqué. *Centre du commerce international*, Geneva, Switzerland.
- Fontagné, L. & Toubal, F., 2011. Commerce de biens intermédiaires et compétitivité. *Centre d'Etudes Prospectives et d'Informations Internationale*, Paris, France.
- Fortune, 1977. Facility Location Decision. *Fortune Market Research Survey*, New York, United States.
- Francis, D.W., Towers, M.T. & Browne, T.C., 2002. Energy Cost Reduction in the Pulp and Paper Industry - An Energy Benchmarking Pespective. *Pulp and paper technical association of Canada*, Montreal, Canada.
- François-Feuerstein, I., 2011. La sidérugie européenne réduit la volure pour enrayer la chute des prix. *Les Echos*, Paris, France.
- François-Feuerstein, I., 2012. L'avenir incertain des hauts-fourneaux de Florange. *Les Echos*, Paris, France.
- Fratianni, M., Marchionne, F. & Hoon Oh, C., 2010. The Gravity Equation in International

- Economics and International Business Research: A Note. *Working Papers 2010-08*, Indiana University, Bloomington, United States.
- Fried, E. & Schultze, C., 1975. Higher Oil Prices and the World Economy : The Adjustment Problem. *The Brookings Institution*, Washington, United States.
- Friedman, J., Gerlowski, D. & Silberman, J., 1992. What attracts foreign multinational corporations ? Evidence from branch plant location in the United States. *Journal of Regional Science*, 32(4), pp.403-18.
- Gaulier, G. & Zignago, S., 2010. BACI: International Trade Database at the Product-level. The 1994-2007 Version. *Centre d'études prospectives et d'informations internationales*, Paris, France.
- Gerald, J., Keeney, M. & Scott, S., 2009. Assessing Vulnerability of Selected Sectors under Environmental Tax Reform: The Issue of Pricing Power, in Andersen, M. & Ekins, P (Eds.), Carbon-Energy Taxation. Lessons from Europe. *Oxford University Press*, Oxford, United Kingdom, pp.55-76.
- Gerlough, R. & Mathys, N., 2011. Energy Abundance, Trade and Industry Location. *Fondazione ENI Enrico Mattei*, Milano, Italy.
- GIEC, 2008. Changements Climatiques 2007. Rapport de synthèse. *Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, Geneva, Switzerland.
- Gielen, D. & Moriguchi, Y., 2002. CO<sub>2</sub> in the iron and steel industry: An analysis of Japanese emission reduction potentials. *Energy Policy*, 30(10), pp.849-63.
- Global Chance, 2009. Petit memento énergétique de l'Union européenne. *Les cahiers de Global Chance*, Meudon, France.
- Godard, O., 2007. Unilateral European Post-Kyoto climate policy and economic adjustment at EU borders. *Cahiers de la Chaire Développement durable X-EDF*, Ecole Polytechnique, Palaiseau, France.
- Greene, W., 2005. Econométrie. 5th ed. Translated by D. Schlachter, T. Azomahou, S. Monjon & P. Nguyen Van. *Pearson Education France*, Montreuil, France.
- Grubb, M. & Neuhoﬀ, K., 2006. Allocation and competitiveness in the EU Emissions Trading Scheme: policy overview. *Climate Policy*, 6(1), pp.7-30.
- Guan, D. & Reiner, D., 2009. Emissions affected by trade among developing countries. *Nature*, 462, p.159.
- Guillochon, B. & Kawecki, A., 2009. Economie internationale, Commerce et macroéconomie. *Dunod*, Paris, France.

- Gujarati, D., 2009. *Econométrie*. Translated by B. Bernier. *De Boeck*, Brussels, Belgium.
- Gustavsson, P., Hansson, P. & Lundberg, L., 1999. Technology, resource endowments and international competitiveness. *European Economic Review*, 43(8), pp.1501-30.
- Gwartney, J., Hall, J. & Lawson, R., 2010. *Economic Freedom of the World: 2010 Annual Report*. *The Fraser Institute*, Calgary, Canada.
- Hamilton, J., 1983. Oil and the Macro-economy since World War II. *Journal of Political Economy*, 91(2), pp.228-48.
- Hansen, J. & Percebois, J., 2010. *Energie. Economie et politiques*. *De Boeck*, Brussels, Belgium.
- Haarla, A., 2003. Product differentiation : Does it provide competitive advantage for a printing paper company ? Doctoral Thesis. *Helsinki University of Technology*, Helsinki, Finland.
- Hagle, T. & Mitchell, G., 1992. Goodness-of-fit measures for probit and logit. *American Journal of Political Science*, 36(3), pp.762-84.
- Hall, C., 1997. *Steel Phoenix: the Fall and Rise of the U.S. Steel Industry*. 1st ed. *Palgrave Macmillan*, Basingstoke, United Kingdom.
- Halleberg, M., Strauch, R. & Von Hagen, J., 2007. The design of fiscal rules and forms of governance in European Union countries. *European Journal of Political Economy*, 23(2), pp.338-59.
- Hausman, J., 1978. Specification Tests in Econometrics. *Econometrica*, 46(6), pp.1251-71.
- Head, K., Mayer, T. & Ries, J., 2010. The erosion of colonial trade linkages after independence. *Journal of International Economics*, 81(1), pp.2008-27.
- Head, K., Ries, J. & Swenson, D., 1995. Agglomeration Benefits and Location Choice Evidence from Japanese Manufacturing Investment in the United States. *Journal of International Economics*, 38(3-4), pp.223-47.
- Hekman, J., 1978. An Analysis of the Changing Location of Iron and Steel Production in the Twentieth Century. *American Economic Review*, 68(1), pp.123-33.
- Helm, D., 2007. *The New Energy Paradigm*. *Oxford University Press*, Oxford, United Kingdom.
- Henderson, J., 1996. Effects of air quality regulation. *American Economic Review*, 86(4), pp.789-813.
- Herrera, A., 2007. *Oil Price Shocks, Inventories and Macroeconomic Dynamics*. *Michigan State University*, East Lansing, United States.
- Hertwich, E. & Peters, G., 2009. Carbon footprint of Nations: A Global, trade-Linked Analysis. *Environmental Science & Technology*, 43(16), pp.6141-420.



- Hidalgo, I., Szabo, L., Ciscar, J. & Soria, A., 2003. CO2 emission trading within the iron and steel industry: a world simulation model. *IPTS*, Sevilla, Spain.
- Hidalgo, I., Szabo, L., Ciscar, J. & Soria, A., 2005. Technological prospects and CO2 emission trading analyses in the iron and steel industry: A global model. *Energy*, 30(5), pp.583-610.
- Honoré, A. & Stern, J., 2007. A Constrained Future for Gas in Europe, in Helm, D (Eds.), *The New Energy Paradigm. Oxford University Press*, Oxford, United Kingdom, pp.223-54.
- Hourcade, JC., Neuhoﬀ, K., Demailly, D. & Sato, M., 2007. Diﬀerentiation and dynamics of EU ETS industrial competitiveness impacts. *Climate Strategies*, London, United Kingdom.
- IAEE, 2012. International Oil and Gas Markets. *International Association of Energy Economics Conference*, Perth, Australia .
- IEA, 2006. Energy Eﬃcient Technologies and CO2 Reduction Potentials in the Pulp and Paper Industry. *International Energy Agency*, Paris, France.
- IEA, 2007. Tracking Industrial Energy Eﬃciency and CO2 Emissions. *International Energy Agency*, Paris, France.
- IEA, 2009a. CO2 Emissions from fuel combustion. *International Energy Agency*, Paris, France.
- IEA, 2009b. Transport, Energy and CO2. *International Energy Agency*, Paris, France.
- IEA, 2009c. Energy Technology Transitions for Industry. *International Energy Agency*, Paris, France.
- IEA, 2010a. World Energy Outlook 2010. *International Energy Agency*, Paris, France..
- IEA, 2010b. Oil Information 2010. *International Energy Agency*, Paris, France.
- IEA, 2010c. Coal Information 2010. *International Energy Agency*, Paris, France.
- IEA, 2011. Natural Gas Information 2011. *International Energy Agency*, Paris, France.
- IEA, 2012. Tracking Clean Energy Progress. *International Energy Agency*, Paris, France.
- INSEE, 2005a. Enquête annuelle d'entreprise. *INSEE*, Paris, France. [Online] Available at: <http://www.insee.fr/sessi/enquetes/eae/eae2005/is123-nes114.htm>.
- INSEE, 2005b. Tableaux de synthèse : TES et TEE. *INSEE*, Paris, France.
- INSEE, 2012a. Indice CVS-CJO de la production industrielle (base 100 en 2005) - Industrie manufacturière. *INSEE*, Paris, France. [Online] Available at: <http://www.insee.fr/fr/bases-de-donnees/bsweb/graph.asp?idbank=001562802>.
- INSEE, 2012b. Valeur ajoutée, rémunération et emploi. *INSEE*, Paris, France. [Online] Available at: [http://www.insee.fr/fr/themes/theme.asp?theme=16&sous\\_theme=5.2.2](http://www.insee.fr/fr/themes/theme.asp?theme=16&sous_theme=5.2.2).

- Institut de l'entreprise, 2012. Pour un choc de compétitivité en France. *Les Notes de l'Institut, Institut de l'entreprise*, Paris, France.
- IPCC, 2012. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. *Intergovernmental Panel on Climate Change*, Geneva, Switzerland.
- Iperti, L., 2005. Do Russian Steel Producers really have a competitive advantage? *Russian Steel Conference*, Moscow, Russia.
- Ismer, R. & Neuhoff, K., 2007. Border tax adjustment : a feasible way to support stringent emission trading. *European Journal of Law and Economics*, 24(2), pp.137-64.
- Jamasb, T., Politt, M. & Triebs, T., 2008. Productivity and efficiency of US gas transmission companies: A European regulatory perspective. *Energy Policy*, 36(9), pp.3398-412.
- Jan Koopman, G., 2006. Energy Transition in the Paper Production Chain. *Energy Efficient Technologies and CO2 Reduction Potentials in the Pulp and Paper Industry Conference*, IEA, Paris, France.
- Jiménez-Rodríguez, R., 2008. The impact of oil price shocks: Evidence from the industries of six OECD countries. *Energy Economics*, 30(6), pp.3095-108.
- Jokinen, J., 2006. Energy-Efficiency Developments in the North and South American and European Pulp & Paper industry. *Energy Efficient Technologies and CO2 Reduction Potentials in the Pulp and Paper Industry Conference*, IEA, Paris, France.
- Joskow, P., 2007. Competitive Electricity Markets and Investment in New Generating Capacity, in Helm, D. (Eds.), *The New Energy Paradigm*. Oxford University Press, Oxford, United Kingdom, pp.76-122.
- Jovanovic, B., 1982. Selection and the Evolution of Industry. *Econometrica*, 50(3), pp.649-70.
- Jovanovic, M., 2009. Evolutionary Economic Geography. *Routledge*, Oxford, United Kingdom.
- Kallio, A., Moiseyev, A. & Solberg, B., 2004. The global forest sector model EFI-GTM - The model structure. *European Forest Institute*, Joensuu, Finland.
- Kaneko, T. & Lee, B., 1995. Relative importance of economic factors in the US and Japanese stock markets. *Journal of the Japanese and International Economies*, 9(3), pp.290-307.
- Kangas, K. & Niskanen, A., 2003. Trade in forest products between European union and the Central and Eastern European access candidates. *Forest Policy and Economics*, 5(3), pp.297-304.
- Karikallio, H., Mäki-Fränti, P. & Suhonen, N., 2011. Competition in the global pulp and paper industries - An evaluation based on three approaches. *Journal of Forest Economics*, 17(1), pp.91-104.

- Karlson, S., 1983. Modeling Location and Production: An application to the U.S. Fully-Integrated Steel Plants. *Review of Economics and Statistics*, 65(1), pp.41-50.
- Kieschnick, M., 1981. Taxes and Growth: Business Incentives and Economic Development. Studies in Development Policy. *Council of State Planning Agencies*, Washington, United States.
- Kilian, L. & Park, C., 2007. The impact of oil price shocks on the U.S. stock market. *CEPR Discussion Paper n°6166, Centre for Economic Policy Research*, London, United Kingdom.
- Kim, D. & Marion, B., 1997. Domestic Market Structure and Performance in Global Markets: Theory and Empirical Evidence from U.S. Food Manufacturing Industries. *Review of Industrial Organization*, 12(3), pp.335-54.
- King, J., 2011. Reports and Data on Iron and Steel. Database of capacity for Iron and Steel by Plant. Corbirdge, United Kingdom.
- Koo, W., Karemera, D. & Richard, T., 1994. A Gravity Model Analysis of Meat Trade Policies. *Agricultural Economics*, 10(1), pp.81-88.
- Kroeger, F., Vizjak, A. & Moriarty, M., 2008. Beating the global Consolidation Endgame. *McGraw-Hill*, Colombus, United States.
- Krugman, P., 1989. Industrial organization and international trade, in Armstrong, M. & Porter, R. (Eds.), *Handbook of Industrial Organization*, North-Holland, Amsterdam, Netherlands, pp.1179-1223.
- Krugman, P., 1991. Increasing returns and economic geography. *Journal of Political Economy*, 99(3), pp.483-500.
- Krugman, P., 1994. Competitiveness - A Dangerous Obsession. *Foreign Affairs*, 73(2), pp. 28-44.
- Laborsta Internet, 2010. International Labour Office database on labour statistics. *International Labour Organization*, Geneva, Switzerland. [Online] Available at: <http://laborsta.ilo.org/default.html>.
- Lacroix, S., 2010. Les conséquences de la crise sur l'emploi dans les régions. *INSEE*, Paris, France.
- Lamberg, J., Näsi, J., Ojala, J. & Sajasalo, P., 2007. The evolution of competitive strategies in global forestry industries. *Springer*, Heidelberg, Germany.
- Leamer, E.E., 1984. Sources for International Comparative Advantage: Theory and Evidence. *MIT Press*, Cambridge, United States.
- Le Blanc, G., 2005. L'industrie dans l'économie française (1978-2003) : Une étude comparée. *Le cercle de l'industrie/Institut de l'entreprise*, Paris, France.
- Le Blanc, G., 2007. La France souffre-t-elle d'une mauvaise spécialisation industrielle ? *Le cercle de*

- l'industrie/Institut de l'entreprise*, Paris, France.
- Le Blanc, G., 2009. L'industrie dans l'économie (1981-2006) Une réalité pour notre avenir ? *Le cercle de l'industrie/Institut de l'entreprise*, Paris, France.
- Le Blanc, G., 2012. Quand on parle de compétitivité, de quoi parle-t-on ? *L'Usine Nouvelle*, Paris, France.
- Lee, K. & Ni, S., 2002. On the dynamics effects of oil price shocks: a study using industry level data. *Journal of Monetary Economics*, 49(4), pp.823-52.
- Lescaroux, F., 2008. Decomposition of US manufacturing energy intensity and elasticities of components with respect to energy prices. *Energy Economics*, 30(3), pp.1068-80.
- Les Echos, 2012. La suppression de 8.000 emplois chez PSA crée un choc sans précédent. *Les Echos*, Paris, France.
- Levchenko, A. & Zhang, J., 2011. The evolution of comparative advantage: Measurement and welfare implications. *Discussion paper No.16806, National Bureau of Economic Research*, Cambridge, United States.
- Levinson, A., 1996. Environmental regulations and manufacturer's location choices: Evidence from the Census of Manufactures. *Journal of Public Economics*, 62(1-2), pp.5-29.
- Levinson, A. & Taylor, S., 2003. Trade and the environment: Unmasking the pollution haven hypothesis. *Georgetown University Working Paper*, Washington, United States.
- Li, X., Buongiorno, J. & Ince, P., 2004. Effects of size and age on the survival and growth of pulp and paper mills. *Journal of Forest Economics*, 10(1), pp.3-19.
- Lieberman, M., 1990. Exit from declining industries: "shakeout" or "stakeout" ? *RAND Journal of Economics*, 21(4), pp.538-54.
- Li, Q. & Resnick, A., 2003. Reversal of Fortunes: Democratic Institutions and Foreign Direct Investment Inflows to Developing Countries. *International Organization*, 57(1), pp.175-211.
- List, J. & Co, C., 2000. Environmental protection and economic growth: What do the residuals tell us?. *Land Economics*, 76(2), pp. 267-282.
- Long, J. & Freese, J., 2006. Regression Models for Categorical Dependent Variables Using Stata. 2nd ed. *STATA Press*, College Station, USA.
- Lundmark, R., 2001. Choice of location for investments in the European paper industry: the impact of wastepaper. *Resources, conservation and recycling*, 33(3), pp.167-80.
- Lundmark, R., 2003. Investment behaviour in the European pulp and paper industry. *Scandinavian journal of forest research*, 18(2), pp.184-92.

- Lundmark, R., 2010. European trade in forest products and fuels. *Journal of Forest Economics*, 16(3), pp.235-51.
- Maestad, O., 2003. Environmental Policy in the Steel Industry: Using Economic Instruments. *OECD*, Paris, France
- Mañé-Estrada, A., 2006. European energy security: Towards the creation of the geo-energy space. *Energy Policy*, 34(18), pp.3773-86.
- Mani, M., Pargal, S. & Huq, M., 1997. In search of pollutions heavens? Dirty industries in the world economy. *Journal of Environment and Development*, 7(3), pp.215-47.
- Markusen, J., Melvin, J., Kaempfer, W. & Maskus, K., 1995. International Trade. Theory and Evidence. *McGraw-Hill*, Colombus, United States.
- Markusen, J. & Venables, A., 1998. Multinational firms and the new trade theory. *Journal of International Economics*, 46(2), pp.183-203.
- Marques, A. & Fuinhas, J., 2012. Are public policies towards renewables succesful ? Evidence from European countries. *Renewable Energy*, 44, pp.109-18.
- Martin, K., 2007. Decoupling of industrial energy consumption and CO2 emissions in energy intensive industries in Scandinavia. *Energy Economics*, 29(4), pp.665-92.
- Martin, P. & Ottaviano, G., 1999. Growing locations: Industry location in a model of endogenous growth. *European Economic Review*, 43(2), pp.281-302.
- Mata, J., Portugal, P. & Guimaraes, P., 1995. The survival of new plants: Start-up conditions and post-entry evolution. *International Journal of Industrial Organization*, 13(4), pp.459-81.
- Mathews, J., 2004. Numerical Methods Using Matlab. 4th ed. *Prentice-Hall Inc.*, New Jersey, United States.
- Mathis, J., Mazier, J. & Rivaud-Danset, D., 1988. La compétitivité industrielle. *Dunod*, Paris, France.
- Mayer, T. & Mucchielli, J., 1999. La localisation à l'étranger des entreprises multinationales. *Economie et statistique*, 6-7, pp. 326-327.
- McCarthy, P. & Lei, L., 2010. Regional demands for pulp and paper products. *Journal of Forest Economics*, 16(2), pp.127-44.
- McConnell, V. & Schwab, R., 1990. The impact of environmental regulation on industry location decisions: The motor vehicle industry. *Land Economics*, 66(1), pp.67-81.
- McKinsey & Company/Ecofys, 2006. Report on International Competitiveness. *European Commission*, Brussels, Belgium.

- Mennella, N., 2012. Des postes de chercheurs menacés en France chez Sanofi. *L'Usine Nouvelle*, Paris, France.
- Miketa, A., 2001. Analysis of energy intensity developments in manufacturing sectors in industrialized and developing countries. *Energy Policy*, 29(10), pp.769-75.
- Miroudot, S., Lanz, R. & Ragoussis, A., 2009. Trade in Intermediate Goods and Services. *OECD Trade Policy Working Paper No. 93*, OECD, Paris, France.
- Molin, C. & Guillet, F., 2010. Maîtrise de l'Energie dans l'Industrie des Pâtes, Papiers, Cartons. *Centre technique du papier*, Saint-Martin-d'Hères, France.
- Mongelli, I., Tassielli, G. & Notarnicola, B., 2009. Carbon Tax and its Short-Term Effects in Italy : An Evaluation Through the Input-Output Model, in Suh, S. (Eds.), *Handbook of Input-Output Economics in Industrial Ecology*, Springer Science+Business Media, Heidelberg, Germany, pp.357-77.
- Monjon, S. & Quirion, P., 2010. How to design a Border Adjustment for the European Union Emissions Trading System. *Fondazione ENI Enrico Mattei*, Milano, Italy.
- Moreau, A., 2005. L'acier en mouvement. Transformation des marchés mondiaux 1874-2004. *Mines Paris Les Presses*, Paris, France.
- Morgenstern, R., Ho, M., Shih, J. & Zhang, X., 2004. The near-term impacts of carbon mitigation policies on manufacturing industries. *Energy Policy*, 32(16), pp.1825-41.
- Mork, N., 1994. Business Cycles and the Oil Markets. *Energy Journal*, 15, pp.15-35.
- Mucchielli, J., 2002. La compétitivité : définitions, indicateurs et déterminants. *Accomex*, 44, pp.9-19.
- Nakano, S. et al., 2009. The measurement of CO2 embodiments in International Trade : Evidence from the Harmonised Input-Output and Bilateral trade Database. *OECD Science, Technology and Industry Working Papers*, OECD, Paris, France.
- Nachum, L., Jones, G.G. & Dunning, J.H., 2001. The international competitiveness of the UK and its multinational enterprises. *Structural Change and Economic Dynamics*, 12(3), pp.277-294.
- Narayanan, G., Badri, L., L., T. & Walmsley, E., 2008. Global Trade, Assistance, and Production : The GTAP 7 Data Base. *Purdue University*, West Lafayette, United States.
- National Accounts Review Committee, 1958. The National Economic Accounts of the United States: Review, Appraisal, and Recommendations. *National Bureau of Economic Research*, Cambridge? United States.
- Navarro, P., 1990. Electricity price shocks and international trade. *Japan and the World Economy*, 2(3), pp.213-20.

- Nordhaus, W. & Yohe, G., 1983. Future carbon dioxide emissions from fossil fuels. *Changing Climate: Report of the Carbon Dioxide Assessment Committee, National Academy Press*, Washington, United States, pp.87-153.
- OECD, 2002. Environmental policy in the steel industry: using economic instruments. Report for the Joint Meeting of Tax and Environment Experts. *OECD*, Paris, France.
- OECD, 2011. STAN STructural ANalysis Database. *OECD*, Paris, France. [Online] Available at: [http://www.oecd.org/document/62/0,3746,en\\_2649\\_34173\\_40696318\\_1\\_1\\_1\\_1,00.html](http://www.oecd.org/document/62/0,3746,en_2649_34173_40696318_1_1_1_1,00.html).
- Olson, M., 1965. The Logic of Collective Action. *Harvard University Press*, Cambridge, United States.
- Park, J. & Ratti, R., 2008. Oil price shocks and stock markets in the U.S. and 13 European countries. *Energy Economics*, 30(5), pp.2587-608.
- Parlement Européen, 1996. Directive 96/92/CE du Parlement européen et du conseil du 19 décembre 1996 concernant des règles communes pour la marché intérieure de l'électricité. *Parlement Européen*, Bruxelles, Belgique.
- Parlement Européen, 1998. Directive 98/30/CE du Parlement européen et du Conseil du 22 juin 1998 concernant des reègles communes pour la marché intérieur du gaz naturel. *Parlement Européen*, Bruxelles, Belgique.
- Peaucelle, J., 2000. Les économies d'échelle dans les parties d'un processus productif et leur combinaison. *XVèmes journées des IAE*, Biarritz, France.
- Pennings, E. & Sleuwaegen, L., 2000. International relocation: firm and industry determinants. *Economics letters*, 67(2), pp.179-86.
- Percebois, J. & Mandil, C., 2012. Rapport énergies 2050. *Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie*, Paris, France.
- Peters, G. & Hertwich, E., 2008. CO2 Embodied in International Trade with implications for Global Climate Policy. *Environmental Science & Technology*, 42(5), pp.1401-07.
- Peters, G. & Hertwich, E., 2009. The Application of Multi-regional Input-Output Analysis to Industrial Ecology, in Suh, S. (Eds.), *Handbook of Input-Output Economics in Industrial Ecology*, Springer Science+Business Media B.V., Heidelberg, Germany, pp.847-63.
- Plüumber, T., Troeger, V. & Manow, P., 2005. Panel data analysis in comparative politics: Linking method to theory. *European Journal of Political Research*, 44, pp.327-54.
- Podestà, F., 2000. Recent Developments in Quantitative Comparative Methodology: The Case of Pooled Time Series Cross-Section Analysis. *McDonough School of Business*, Georgetown University, Washington, United States.



- Pointvogl, A., 2009. Perceptions, realities, concession - What is driving the integration of European energy policies? *Energy Policy*, 37(12), pp.5704-16.
- Porter, M., 1980. *Competitive Strategy: Technique for Analyzing Industries and Competitors*. The Free Press, New York, United States.
- Porter, M., 1990. *The competitive advantage of nations*. The Free Press, New York, United States.
- Pourouchottamin, P. & De La Fuente, C., 2010. Méthodologie de calcul du contenu énergétique des usages, 2010. *EDF R&D*, Moret-Sur-Loing, France.
- Pöyry Forest Industry Consulting Oy, 2007. World demand for paper and paperboard 1980-2020, in Diesen, M (Eds.), *Economics of the Pulp and Paper Industry*. Finnish Paper Engineers' Association, Helsinki, Finland.
- Prestemon, J. & Buongiorno, J., 1997. Comparative advantage in U.S. Interstate Forest Products Trade. *Journal of Forest Economics*, 3(3), pp.207-28.
- PwC, 2001. Facteurs et indicateurs de la compétitivité des entreprises de services rendus à l'industrie. *Editions Ministère de l'Economie et des Finances*, Paris, France.
- PwC, 2007. South America becomes a global player in the forest, paper and packaging sector. *PwC*, New York, United States.
- Rabe-Hesketh, S. & Skrondal, A., 2008. *Multilevel and Longitudinal Modeling Using Stata*. 2nd ed. Stata Press, College Station, United States.
- Rabe-Hesketh, S., Skrondal, A. & Pickles, A., 2005. Maximum likelihood estimation of limited and discrete dependent variable models with nested random effects. *Journal of Econometrics*, 128(2), pp.301-23.
- Rasciute, S. & Pentecost, E., 2009. A Nested logit approach to modelling the location of foreign direct investment in the Central and Eastern European Countries. *Economic Modelling*, 27(1), pp.32-39.
- Reinaud, J., 2005. Industrial competitiveness under the European Union emissions trading scheme. IEA information paper. *IEA*, Paris, France.
- Reinaud, J., 2008. *Climate Policy and Carbon Leakage*. IEA, Paris, France.
- RISI, 2011. *Pulp & Paper Industry Information*. RISI, Boston, United States. [Online] Available at: <http://www.risiinfo.com/pages/product/pulp-paper/>
- Romalis, J., 2004. Factor proportions and the structure of commodity trade. *American Economic Review*, 94(1), pp.67-97.
- Romme, G., 1994. Changing business systems in the European paper and pulp industry. *European*

- Management Journal*, 12(4), pp.469-79.
- Sadorsky, P., 2008. Assessing the impact of oil prices on firms of different sizes: It's tough being in the middle. *Energy Policy*, 36, pp.3854-61.
- Santos Silva, J. & Tenreyro, S., 2011. Further simulation evidence on the performance of the Poisson pseudo-maximum likelihood estimator. *Economic Letters*, 112(2), pp.220-22.
- Schmitz, A., Kaminski, J., Scalet, B. & Soria, A., 2011. Energy consumption and CO2 emissions of the European glass industry. *Energy Policy*, 39(1), pp.142-55.
- Schwab, K., 2009. The Global Competitiveness Report 2009-2010. *World Economic Forum*, Geneva, Switzerland.
- Scrase, I. & MacKerron, G., 2009. *Energy for the Future. A new Agenda*. Palgrave Macmillan.
- Seck, G., 2012. *Modélisation prospective de l'industrie diffuse pour l'évaluation de l'impact de politiques de Maîtrise De l'Energie (MDE) à partir du générateur de modèle TIME. La récupération de chaleur par Pompes à Chaleur (PAC) dans l'industrie agroalimentaire*. Paris, France: Mines ParisTech.
- Smith, A., 2009. Energy Governance: The Challenges of Sustainability, in Scrase, I. & MacKerron, G. (Eds.), *Energy for the Future*. Palgrave Macmillan, Basingstoke, United Kingdom.
- Stafford, H., 1985. Environmental Protection and Industrial Location. *Annals of the Association of American Geographers*, 75(2), pp.227-40.
- Stehrer, R. et al., 2011. Trade in Intermediate Products and EU Manufacturing Supply Chains. *The Vienna Institute for International Economic Studies*, Vienna, Austria.
- Stern, N., 2006. Stern Review on The Economics of Climate Change. *HM Treasury*, London, United Kingdom.
- Stevens, P., 2007. Oil Markets and the Future, in Helm, D. (Eds.), *The New Energy Paradigm*. Oxford University Press, Oxford, United Kingdom, pp.123-57.
- Stevenson, W., 2012. Operation Management. 11th ed. *McGraw-Hill*, Columbus, United States.
- Sturgeon, T. & Memedovic, O., 2010. Mapping Global value Chains: Intermediate Goods Trade and Structural Change in the World Economy. Working Paper. *United Nations Industrial Development Organization*, Vienna, Austria.
- Su, B., Huang, H.C., Ang, B.W. & Zhou, P., 2010. Input-output analysis of CO2 emissions embodied in trade: The effects of sector aggregation. *Energy Economics*, 32, pp.166-75.
- Szabo, L., Hidalgo, I., JC., C. & Soria, A., 2006. CO2 emission trading within the EU and Annex B countries: the cement industry case. *Energy Policy*, 34, pp.72-87.

- Szabó, L. et al., 2009. A world model of the pulp and paper industry: Demand energy consumption and emission scenarios to 2030. *Environmental Science & Policy*, 12, pp.257-69.
- Thibault, G., 2008. Quelle stratégie industrielle pour la France face à la mondialisation. *Editions Technip*, Paris, France.
- Tomas, R. et al., 2010. Assesment of the impact of the European CO2 emissions trading scheme on the Portuguese chemical industry. *Energy Policy*, 38(1), pp.626-32.
- Traill, B. & Da Silva, J., 1996. Measuring International Competitiveness : the Case of the European Food Industry. *International Business Review*, 5(2), pp.151-66.
- Trefler, D., 1993. International factor price differences: Leontief was right! *Journal of Political Economy*, 101(6), pp.961-87.
- UN Comtrade, 2012. United Nations Commodity Trade Statistics Database. *United Nations Statistics Division*, New York, United States. [Online] Available at: <http://comtrade.un.org/db/>.
- Uronen, T., 2010. On the transformation processes of the global pulp and paper industry and their implications for corporate strategies - A European perspective. Doctoral thesis. *Aalto University*, Helsinki, Finland.
- U.S. Congress, 1985. Report of the President's Commission on Industrial Competitiveness : hearing before the Subcommittee on Economic Stabilization of the Committee on Banking, Finance, and Urban Affairs. *U.S. G.P.O.*, Washington, United States.
- Utkulu, U. & Seymen, D., 2004. Revealed Comparative Advantage and Competitiveness. *European Trade Study Group 6th Annual Conference*, Nottingham, United Kingdom.
- Uusivuori, J. & Tervo, M., 2002. Comparative advantage and forest endowment in forest products trade: evidence from panel data of OECD-countries. *Journal of Forest Economics*, 8, pp.53-75.
- Van Beers, C. & Van den Bergh, J., 1997. An empirical multi-country analysis of the impact of environmental regulations on foreign trade flows. *Kyklos*, 50, pp.29-46.
- Van Vuuren, D., Strengers, B. & De Vries, J., 1999. Long-term perspectives on world metal use - a system-dynamics model. *Resources Policy*, 25(4), pp.239-55.
- Venables, A., 1996. Equilibrium locations of vertically linked industries. *International Economic Review*, 37, pp.341-59.
- Vollmer, S., Martinez-Zarzoso, I. & F., N.-L., 2009. Unit Values, Productivity, and Trade-Determinants of Spanish Export Strength. *Global Economy Journal*, 9(3), pp.3.
- Weber, C., 2008. Uncertainties in Constructing Environmental Multiregional Input-Output Models. *International Input Output Meeting on Managing the Environment*, Sevilla, Spain.

- Weber, K.M., Zappacosta, M. & Scapolo, F., 1999. The Futures Project. The Competitiveness Map, Avenues for Growth. *Institute for Prospective Technological Studies*, Sevilla, Spain.
- Wiedmann, T., 2009. A review of recent multi-region input-output models used for consumption-based emission and resource accounting. *Ecological Economics*, 69(2), pp.211-22.
- Wiedmann, T., Lenzen, M., Turner, K. & Barrett, J., 2007. Examining the global environmental impact of regional consumption activities - Part 2: Review of input-output models for the assessment of environmental impacts embodied in trade. *Ecological Economics*, 61(1), pp.12-26.
- Wiling, H., 2008. Analysis of the Sustainability of Supply Chains with a Multi-Regional Input-Output Model. *International Input Output Meeting on Managing the Environment*, Sevilla, Spain.
- Windmeijer, F., 1995. Goodness-of-fit measures in binary choice models. *Econometric Reviews*, 14(1), pp.101-16.
- Winters, A., 1995. Liberalising European Steel Trade. *European Economic Review*, 39(3-4), pp.611-21.
- Wolfgang, L., 2000. The Assessment of Fit in the Class of Logistic Regression Models: A Pathway out of the Jungle of Pseudo-R<sup>2</sup>s. *Fifth International Conference on Logic and Methodology*, Cologne, Germany.
- Wooldridge, J., 2002. Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data. *MIT Press*, Cambridge, United States.
- World Energy Council, 2008. Europe's Vulnerability to Energy Crises. *World Energy Council*, London, United Kingdom.
- WorldSteel Association, 2011. Steel Statistical Yearbook. *WorldSteel Association*, Brussels, Belgium.
- WorldSteel Association, 2012. World Steel in Figures 2012. *WorldSteel Association*, Brussels, Belgium.
- Xing, Y., 2006. Why is China so attractive for FDI? The role exchanges rates. *China Economic Review*, 17, pp.198-209.
- Zaklan, A., Cullmann, A., Neumann, A. & Von Hirschhausen, C., 2009. The Globalization of Steam Coal Markets and the Role of Logistics: An Empirical Analysis. *Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung*, Berlin, Germany.
- Zhang, S. & Buongiorno, J., 2007. Does Monopolistic Competition Explain Intra-Industry Trade of Forest Products? *Forest Science*, 53(4), pp.519-28.

## LISTE DES SIGLES UTILISES

**ACR** : Avantages comparatifs révélés

**BRIC** : Brésil, Russie, Inde, Chine

**CAF** : Coût, Assurance, Fret

**CBC** : Contribution à la balance commerciale

**CEI** : Communauté des Etats Indépendants

**CES** : Constant elasticity of substitution

**CGE** : Computable General Equilibrium

**COMETR** : Competitiveness Effects of Environmental Tax Reform

**FOB** : Franco à Bord

**GTAP** : Global Trade Analysis Project

**HT** : Hors-taxe

**IAA** : Industries agro-alimentaires

**IDE** : Investissement direct à l'étranger

**IEA** : International Energy Agency

**IGCE** : Industrie grande consommatrice d'énergie

**INSEE** : Institut national de la statistique et des études économiques

**MRIO** : Multi-regional Input-Output

**NACE** : Nomenclature statistique des activités économiques dans la Communauté européenne

**OCDE** : Organisation de coopération et de développement économiques

**SBS** : Structural Business Statistics

**SRIO** : Single-region Input-Output

**TES** : Tableau entrées-sorties

**TTC** : Toutes taxes comprises

**UE** : Union européenne

## INDEX DES FIGURES

### Chapitre I

<b>Figure 1</b> : Chiffre d'affaire de l'industrie manufacturière en Europe en 2008.....	23
<b>Figure 2</b> : Composition de la valeur ajoutée de l'industrie manufacturière en Europe en 2009.....	24
<b>Figure 3</b> : Part de la valeur ajoutée de l'industrie manufacturière dans l'économie totale.....	24
<b>Figure 4</b> : Part de l'emploi dans l'industrie manufacturière dans l'emploi total de l'économie.....	26
<b>Figure 5</b> : Evolution de la valeur ajoutée en volume dans l'industrie manufacturière.....	26
<b>Figure 6</b> : Indice de production de l'industrie manufacturière en France.....	27
<b>Figure 7</b> : Evolution des parts de marché à l'exportation des états européens dans le commerce intra-européen.....	28
<b>Figure 8</b> : Pénétration des importations de biens manufacturés (importation/consommation).....	29
<b>Figure 9</b> : Ratio exportations sur importations pour les produits de l'industrie manufacturière (hors énergie).....	29
<b>Figure 10</b> : Taux de marge dans l'industrie manufacturière européenne, en 2000 et 2007.....	30
<b>Figure 11</b> : Indice des coûts unitaires du travail dans l'industrie manufacturière.....	32
<b>Figure 12</b> : Indice de la productivité du travail dans l'industrie manufacturière.....	32
<b>Figure 13</b> : Indice d'évolution de l'emploi dans l'industrie manufacturière depuis 1991.....	33
<b>Figure 14</b> : Composition de la production d'énergie primaire dans le monde.....	37
<b>Figure 15</b> : Evolution de la consommation finale d'énergie dans le monde entre 1971 et 2010.....	38
<b>Figure 16</b> : Composition de l'augmentation de la consommation d'énergie finale par région dans le monde entre 1980 et 2010.....	38
<b>Figure 17</b> : Changements estimés dans la consommation d'énergie primaire mondiale par énergie et par région entre 2008 et 2035.....	39
<b>Figure 18</b> : Lien entre la production de pétrole brut et les réserves mondiales prouvées de pétrole.....	40
<b>Figure 19</b> : Prix moyen d'importation du pétrole brut dans les pays membres de l'AIE.....	41
<b>Figure 20</b> : Ratio des prix moyens d'importations du gaz naturel et du charbon par rapport aux prix d'importation du pétrole brut dans les pays membres de l'AIE.....	41
<b>Figure 21</b> : Moyenne des prix de l'électricité TTC pour l'industrie dans sept régions du monde.....	43
<b>Figure 22</b> : Moyenne des prix du charbon bitumineux TTC pour l'industrie dans sept régions du monde.....	43
<b>Figure 23</b> : Moyenne des prix du gaz naturel TTC pour l'industrie dans sept régions du monde.....	44
<b>Figure 24</b> : Moyenne des prix du fioul lourd TTC pour l'industrie dans sept régions du monde.....	44
<b>Figure 25</b> : Diagramme en boîte des prix TTC de l'énergie pour l'industrie dans différentes régions du monde.....	46
<b>Figure 26</b> : Evolution de la production et des réserves de pétrole et de gaz dans l'Union européenne.....	48
<b>Figure 27</b> : Evolution du taux de couverture de la consommation de pétrole, de gaz et charbon par la production domestique dans l'Union européenne de 1980 à 2011.....	48
<b>Figure 28</b> : Taux d'indépendance énergétique dans les pays européens en 1980 et en 2010.....	49
<b>Figure 29</b> : Origine du pétrole importé par région du monde en 2011.....	50
<b>Figure 30</b> : Origine du gaz naturel importé par région du monde en 2011 (gazoduc et GNL).....	51
<b>Figure 31</b> : Origine du charbon vapeur dans les principales régions importatrices en 2009.....	52
<b>Figure 32</b> : Scénarios d'émission de gaz à effet de serre entre 2000 et 2100 selon les scénarios du GIEC.....	54
<b>Figure 33</b> : Répartition de la consommation finale d'énergie par secteur économique dans différentes régions du monde en 1990 et 2010.....	61
<b>Figure 34</b> : Evolution de la consommation finale d'énergie dans l'industrie dans le monde par type d'énergie entre 1971 et 2011.....	62
<b>Figure 35</b> : Répartition mondiale de la consommation finale d'énergie dans l'industrie en 1990, 2000 et 2010.....	63
<b>Figure 36</b> : Répartition par secteur de la consommation finale d'énergie dans l'industrie européenne.....	64

<b>Figure 37</b> : Profil de consommation par forme d'énergie dans l'industrie européenne en 2009.....	64
<b>Figure 38</b> : Ratio des dépenses énergétiques sur la valeur de la production dans l'industrie européenne.....	67
<b>Figure 39</b> : Ratio des dépenses énergétiques sur la valeur ajoutée dans l'industrie européenne en 2007. ....	68
<b>Figure 40</b> : Part de la valeur ajoutée des IGCE dans l'industrie manufacturière en Allemagne, Belgique, Espagne, France, Italie et Royaume-Uni en 2000, 2005 et 2007.....	70
<b>Figure 41</b> : Part de l'emploi des IGCE dans l'industrie manufacturière et nombre d'entreprises par secteur...	71
<b>Figure 42</b> : Répartition de la valeur de la production dans les IGCE en 2007. ....	73
<b>Figure 43</b> : Dépenses de personnel, de R&D et investissement corporel dans les IGCE en 2007. S .....	73
<b>Figure 44</b> : Taux de marge brute dans les IGCE dans l'industrie manufacturière, d'exploitation .....	74
<b>Figure 45</b> : Valeur ajoutée par entreprise et par salarié dans les IGCE .....	75
<b>Figure 46</b> : Pénétration des importations de produits IGCE.....	77
<b>Figure 47</b> : Part des exportations dans la production des IGCE .....	77
<b>Figure 48</b> : Ratio des exportations sur les importations de produits des IGCE .....	78
<b>Figure 49</b> : Contribution à la balance commerciale nationale des secteurs IGCE.....	79
<b>Figure 50</b> : Evolution de la consommation par habitant d'acier brut en Chine .....	80
<b>Figure 51</b> : Evolution de l'indice d'intensité énergétique des secteurs de l'industrie .....	82
<b>Figure 52</b> : Consommation spécifique moyenne d'énergie .....	82
<b>Figure 53</b> : Evolution de l'indice d'intensité en CO <sub>2</sub> de l'industrie manufacturière .....	84
<b>Figure 54</b> : Intensité en CO <sub>2</sub> pour l'industrie de la chimie et émissions de CO <sub>2</sub> par tonne physique .....	84
<b>Figure 55</b> : Taux réglementaire d'imposition des entreprises dans les principaux pays développés.....	102
<b>Figure 56</b> : Choix d'étude des principaux facteurs potentiels de compétitivité pour une IGCE. ....	104
<b>Figure 57</b> : Lien entre le prix du pétrole brut et la croissance du PIB aux Etats-Unis entre 1986 et 2011.....	109
<b>Figure 58</b> : Interactions Economie/Environnement/Energie par rapport aux émissions de CO <sub>2</sub> .....	112
<b>Figure 59</b> : Risque de perte de compétitivité par secteur IGCE au Royaume-Uni en 2006 .....	114

## Chapitre II

<b>Figure 60</b> : Evolution de la moyenne des prix de l'énergie dans les pays sélectionnés entre 1995 et 2006....	139
<b>Figure 61</b> : Evolution de la profitabilité dans la sidérurgie mondiale .....	140
<b>Figure 62</b> : Effet de la crise financière de 2008 sur les prix de l'acier aux Etats-Unis.....	141
<b>Figure 63</b> : Production mensuelle d'acier brut dans le monde entre 2007 et 2010.....	142
<b>Figure 64</b> : Production mensuelle d'acier brut et indice de prix à la production de la sidérurgie en France et en Allemagne entre 1995 et 2011.....	144
<b>Figure 65</b> : Evolution de la demande mondiale en acier et en papier entre 1980 et 2010. ....	145
<b>Figure 66</b> : Evolution des prix du papier journal et des papiers d'impression en Allemagne de 1990 à 2005. ....	146
<b>Figure 67</b> : Evolution des investissements et de la rentabilité dans l'industrie papetière.....	148
<b>Figure 68</b> : Production, consommation et échanges d'acier dans les principales régions mondiales. ....	150
<b>Figure 69</b> : Courbe d'intensité de consommation de l'acier .....	151
<b>Figure 70</b> : Production, consommation et échanges de papier dans les principales régions du monde.....	153
<b>Figure 71</b> : Lien entre le PIB par habitant et la consommation par habitant. ....	154
<b>Figure 72</b> : Evolution et prévision de la demande de papier et de carton entre 1980 et 2020. ....	155
<b>Figure 73</b> : Part de marché des 5 plus grands producteurs d'aciers par région en 2005.....	156
<b>Figure 74</b> : Evolution des capacités de production de l'industrie papetière dans 32 pays du monde .....	158
<b>Figure 75</b> : Différence de concentration selon les industries en 2001 .....	159
<b>Figure 76</b> : Evolution de la concentration des parts de marché des 5 premiers groupes papetiers dans différentes régions du monde entre 1997 et 2005.....	160
<b>Figure 77</b> : Différenciation des papiers à usages graphiques selon la qualité relative et le prix .....	162
<b>Figure 78</b> : Evolution comparée de la production et des échanges internationaux d'acier dans le monde.....	163



<b>Figure 79</b> : Solde net sur consommation domestique d'acier en volume dans le monde en 1995, 2000 et 2006.	164
<b>Figure 80</b> : Evolution comparée de la production et des échanges internationaux de papier dans le monde ..	164
<b>Figure 81</b> : Ratio du solde net sur la consommation domestique de papier en volume dans le monde .....	166
<b>Figure 82</b> : Répartition de la consommation d'énergie dans la sidérurgie mondiale en 2009 .....	167
<b>Figure 83</b> : Répartition des coûts de production dans un haut-fourneau en 2010 .....	168
<b>Figure 84</b> : Répartition des coûts de production dans un four à arc électrique en 2008 .....	168
<b>Figure 85</b> : Coûts de production de l'acier plat dans 5 usines intégrées en 2004 .....	169
<b>Figure 86</b> : Evolution des coûts de production de l'acier plat dans 5 usines intégrées dans le monde .....	170
<b>Figure 87</b> : Coûts de production de l'acier plat dans 5 usines avec des fours à arc électrique en 2008 .....	170
<b>Figure 88</b> : Relation entre les coûts de l'énergie et le ratio exportation/importation d'acier pour la France...	171
<b>Figure 89</b> : Relation entre les coûts de l'énergie et le ratio production/consommation domestique d'acier dans le monde entre 1997 et 2006 .....	171
<b>Figure 90</b> : Répartition de la consommation d'énergie dans l'industrie mondiale du papier en 2009. ....	172
<b>Figure 91</b> : Moyenne des coûts de production pour l'industrie du papier en Europe en 2005. ....	173
<b>Figure 92</b> : Différences entre pays des coûts de l'énergie pour la production de papier en 2006. ....	174
<b>Figure 93</b> : Relation entre les exportations allemandes de papier et les coûts de l'énergie par rapport au pays importateur entre 1995 et 2006 .....	175
<b>Figure 94</b> : Corrélation entre le ratio domestique production/consommation et les coûts de l'énergie .....	175
<b>Figure 95</b> : Consommation énergétique dans la production de papier dans différents pays .....	180
<b>Figure 96</b> : Evolution des contrats à court et long termes pour l'achat de charbon métallurgique dans la sidérurgie .....	181
<b>Figure 97</b> : Effets de l'évolution des coûts de l'électricité sur les exportations de papier en valeur .....	194
<b>Figure 98</b> : Effets de l'évolution des coûts de l'électricité sur les exportations de papier .....	195
<b>Figure 99</b> : Evolution des prix de l'électricité dans l'industrie entre 1995 et 2006 .....	195
<b>Figure 100</b> : Effets de l'évolution des coûts des combustibles sur les exportations de papier .....	196
<b>Figure 101</b> : Effets de l'évolution des coûts de l'électricité sur les exportations de papier .....	197
<b>Figure 102</b> : Répartition de la hausse des emplois dans l'industrie manufacturière française, hors papier, liés à une baisse relative des coûts de l'électricité .....	198
<b>Figure 103</b> : Effets annuels de l'évolution des coûts relatifs de l'électricité sur les exportations de papier ...	199
<b>Figure 104</b> : Effets annuels de l'évolution des coûts relatifs des combustibles sur les exportations de papier	199
<b>Figure 105</b> : Evolution des exportations d'acier du Japon vers la Chine, la Corée du Sud et vers le monde ..	200
<b>Figure 106</b> : Effets de l'évolution des coûts de l'énergie sur les exportations d'acier .....	201
<b>Figure 107</b> : Effets de l'évolution des coûts de l'énergie sur les exportations d'acier .....	202
<b>Figure 108</b> : Effets annuels de l'évolution des coûts relatifs de l'énergie sur les exportations de papier .....	203
<b>Figure 109</b> : Répartition de la hausse des emplois dans l'industrie manufacturière française, hors sidérurgie, liés à une baisse relative des coûts de l'énergie .....	203
<b>Figure 110</b> : Comparaison des coûts de la main d'œuvre dans l'industrie du papier .....	216
<b>Figure 111</b> : Corrélation entre les valeurs observées et simulées par le modèle R-FE pour le papier .....	225
<b>Figure 112</b> : Corrélation entre les valeurs observées et simulées par le modèle R-FE pour la acier brut .....	225
<b>Figure 113</b> : Valeur absolue des coefficients standardisés pour le papier .....	232
<b>Figure 114</b> : Valeur absolue des coefficients standardisés pour le papier, sans la consommation domestique	233
<b>Figure 115</b> : Valeur absolue des coefficients standardisés pour l'acier .....	234
<b>Figure 116</b> : Valeur absolue des coefficients standardisés pour l'acier, sans la consommation domestique ..	235
<b>Figure 117</b> : Déterminants de la production dans le papier dans 14 pays en 2006 .....	237
<b>Figure 118</b> : Déterminants de la production dans la sidérurgie dans 14 pays en 2006 .....	239
<b>Figure 119</b> : Prix de l'électricité pour l'industrie aux Etats-Unis en 1990 .....	245
<b>Figure 120</b> : Changements de capacité dans les usines sidérurgiques par grandes régions mondiales .....	252
<b>Figure 121</b> : Comparaison du coût salarial unitaire dans la sidérurgie en 2006 .....	253
<b>Figure 122</b> : Evolution du taux d'utilisation des capacités régionales entre 1995 et 2006 .....	254

<b>Figure 123 :</b> Evolution de la taille moyenne des fours sidérurgiques dans le monde en indice .....	262
<b>Figure 124 :</b> Estimation de la capacité optimale d'une usine sidérurgique à hauts-fourneaux.....	270
<b>Figure 125 :</b> Estimation de la capacité optimale d'une usine sidérurgique à arcs électriques.....	270
<b>Figure 126 :</b> Effet d'une augmentation d'un écart-type des variables explicatives continues sur la probabilité d'un choix de catégorie supérieure.....	271
<b>Figure 127 :</b> Estimation des probabilités annuelles et décennales de changement de capacité des usines à fours électriques en fonction des prix de l'électricité. ....	273
<b>Figure 128 :</b> Estimation des probabilités annuelles et décennales de changement de capacité des usines à hauts-fourneaux en fonction des prix du charbon métallurgique.....	274
<b>Figure 129 :</b> Evaluation de la qualité de l'ajustement du modèle de Cox pour les fours à arc électrique avec la méthode des résidus de Cox-Snell.....	276
<b>Figure 130 :</b> Fonction de risque de fermeture d'un four électrique selon son âge.....	277
<b>Figure 131 :</b> Fonction de risque cumulé de fermeture d'un four électrique selon son âge.....	278
<b>Figure 132 :</b> Effet d'une augmentation d'un écart-type des variables explicatives sur la probabilité de fermeture d'un four à arc électrique. ....	279
<b>Figure 133:</b> Effet de la taille des capacités de production sur le risque de fermeture annuel d'un four à arc électrique. ....	280
<b>Figure 134 :</b> Effet du taux d'utilisation des capacités régionales sur le risque de fermeture annuel d'un four à arc électrique .....	281
<b>Figure 135 :</b> Effet des prix de l'électricité sur le risque de fermeture annuel d'un four à arc électrique.....	282
<b>Figure 136 :</b> Courbe de risque annuel de fermeture estimée pour 5 fours à arc électrique.....	283

### Chapitre III

<b>Figure 137 :</b> Evolution des importations de biens intermédiaires, de biens d'équipement et de consommation dans le monde entre 1962 et 2006 .....	296
<b>Figure 138 :</b> Intensité énergétique de l'industrie dans les grandes régions du monde .....	297
<b>Figure 139 :</b> Echanges intra- et inter-régionaux de biens intermédiaires en 2006.....	298
<b>Figure 140 :</b> Part des régions dans les importations de biens intermédiaires dans le monde en 2006.....	299
<b>Figure 141 :</b> Part des régions dans les exportations de biens intermédiaires dans le monde en 2006. ....	300
<b>Figure 142 :</b> Déviation moyenne de l'énergie contenue dans les importations d'un pays de l'UE et provenant d'autres pays de l'UE selon le nombre de secteurs industriels inclus dans le modèle TES.....	315
<b>Figure 143 :</b> Répartition de l'énergie contenue dans les échanges commerciaux du Moyen-Orient et de la Turquie .....	321
<b>Figure 144 :</b> Flux d'énergie contenue dans les produits manufacturés dans le monde en 2005.....	322
<b>Figure 145 :</b> Flux de CO <sub>2</sub> contenu dans les produits manufacturés dans le monde en 2005 .....	323
<b>Figure 146 :</b> Contenu en CO <sub>2</sub> par rapport au contenu énergétique des produits manufacturés .....	324
<b>Figure 147 :</b> Solde net des échanges d'énergie contenue dans les biens manufacturés pour la France .....	326
<b>Figure 148 :</b> Répartition de l'énergie contenue dans les échanges commerciaux de la France avec l'UE .....	327
<b>Figure 149 :</b> Répartition de l'énergie contenue dans les échanges commerciaux de la France avec le Monde.....	327
<b>Figure 150 :</b> Flux d'énergie contenue dans les produits manufacturés à partir et vers la France .....	328
<b>Figure 151 :</b> Lieu de consommation de l'énergie contenue dans les produits manufacturés consommés en France et lieu de consommation de l'énergie du secteur énergétique français.....	329
<b>Figure 152 :</b> Origine de l'énergie grise contenue dans les importations de produits manufacturés en France .....	331
<b>Figure 153 :</b> Origine des importations de produits manufacturés en valeur en France .....	332
<b>Figure 154 :</b> Energie contenue dans les produits manufacturés de l'industrie française .....	334
<b>Figure 155 :</b> Flux de CO <sub>2</sub> contenu dans les produits manufacturés à partir et vers la France .....	336
<b>Figure 156 :</b> Lieu de consommation du CO <sub>2</sub> contenu dans les produits manufacturés consommés en France et lieu de consommation du CO <sub>2</sub> du secteur énergétique français.....	337

<b>Figure 157</b> : Flux d'électricité contenue dans les produits manufacturés à partir et vers la France .....	338
<b>Figure 158</b> : Bilan des flux d'électricité dans les produits manufacturés en France. ....	339
<b>Figure 159</b> : Origine de l'énergie contenue dans la production de l'industrie européenne par pays.....	344
<b>Figure 160</b> : Origine de l'énergie contenue dans la production industrielle européenne par secteur .....	346
<b>Figure 161</b> : Estimation de la hausse de la consommation d'énergie par secteur et par pays .....	357
<b>Figure 162</b> : Répartition par secteur dans l'UE de la hausse de consommation de l'électricité.....	358
<b>Figure 163</b> : Répartition par secteur dans l'UE de la hausse de consommation de gaz.....	358
<b>Figure 164</b> : Répartition par secteur dans l'UE de la hausse de consommation de produits pétroliers .....	359
<b>Figure 165</b> : Répartition par secteur dans l'UE de la hausse de consommation de charbon .....	359
<b>Figure 166</b> : Hausse de la consommation d'énergie en France .....	360
<b>Figure 167</b> : Estimation de la variation de la consommation d'énergie en cas de relocalisation de la construction automobile. ....	362
<b>Figure 168</b> : Bilan global de la consommation d'énergie dans l'industrie manufacturière mondiale. ....	362
<b>Figure 169</b> : Effet sur la consommation nationale d'énergie en France et en Allemagne d'une hypothèse de relocalisation de l'industrie automobile.....	363
<b>Figure 170</b> : Valeur de la taxe comme un pourcentage du prix initial des produits manufacturés .....	366
<b>Figure 171</b> : Valeur de la taxe comme un pourcentage du prix initial des produits manufacturés .....	369
<b>Figure 172</b> : Taux effectif d'une taxe carbone à la frontière de l'UE sur les exportations par secteur du Japon, des Etats-Unis et du Brésil .....	372
<b>Figure 173</b> : Taux effectif d'une taxe carbone à la frontière de l'E sur les exportations par secteur de la Chine, de l'Inde et de la Russie.....	372

## INDEX DES TABLEAUX

### Chapitre I

<b>Tableau 1 :</b> Réduction des émissions directes de gaz à effet de serre nécessaires en 2050 pour répondre à l'objectif de limitation du réchauffement climatique en 2050 .....	85
<b>Tableau 2 :</b> Synthèse des différentes notions de compétitivité.....	93
<b>Tableau 3 :</b> Classification des principaux facteurs potentiels de compétitivité pour une industrie grande consommatrice d'énergie.....	95

### Chapitre II

<b>Tableau 4 :</b> Analyse des mécanismes clés des principales études sur le lien entre prix de l'énergie, régulation environnementale et compétitivité de l'industrie.....	130
<b>Tableau 5 :</b> Présentation des différentes méthodes économétriques appliquées pour l'étude des déterminants de la localisation des industries .....	133
<b>Tableau 6 :</b> Pays étudiés dans les études économétriques sur les industries du papier et de l'acier.....	137
<b>Tableau 7 :</b> Dénombrement des échanges commerciaux manufacturés significatifs pour le papier et l'acier dans les pays de l'étude .....	137
<b>Tableau 8 :</b> Dix plus grandes entreprises productrices d'acier dans le monde entre 1995 et 2010. ....	157
<b>Tableau 9 :</b> Classification des différents produits papetiers.....	161
<b>Tableau 10 :</b> Statistiques descriptives pour le modèle de gravité du papier.....	183
<b>Tableau 11 :</b> Statistiques descriptives pour le modèle de gravité de l'acier.....	183
<b>Tableau 12 :</b> Résultats du modèle de gravité pour l'industrie du papier sur 32 pays .....	190
<b>Tableau 13 :</b> Résultats du modèle de gravité pour l'industrie sidérurgique sur 31 pays .....	191
<b>Tableau 14 :</b> Comparaison des résultats pour les études précédentes sur les facteurs de localisation des investissements dans les industries du papier et de la sidérurgie.....	211
<b>Tableau 15 :</b> Description statistique des variables du modèle sur l'industrie du papier.....	218
<b>Tableau 16 :</b> Description statistique des variables du modèle sur la sidérurgie. ....	219
<b>Tableau 17 :</b> Résultats du modèle TSCS sur la production nationale de papier.....	223
<b>Tableau 18 :</b> Résultats du modèle TSCS sur la production nationale d'acier brut .....	224
<b>Tableau 19 :</b> Ecart-type en logarithme des variables de régression. ....	231
<b>Tableau 20 :</b> Description statistique des variables du modèle sur les usines sidérurgiques. ....	256
<b>Tableau 21 :</b> Description de la moyenne des variables étudiés en fonction de l'évolution des usines sidérurgiques entre 1996 et 2006.....	257
<b>Tableau 22 :</b> Description statistique des variables du modèle sur les fours sidérurgiques.....	263
<b>Tableau 23 :</b> Description de la durée de vie des fours sidérurgiques inclus dans l'étude. Les fours électriques et les hauts-fourneaux sont comptabilisés ensembles.....	264
<b>Tableau 24 :</b> Description de la durée de vie des fours électriques inclus dans l'étude.....	264
<b>Tableau 25 :</b> Description de la durée de vie des hauts-fourneaux inclus dans l'étude. ....	264
<b>Tableau 26 :</b> Résultats du modèle ordonné complet sur les usines sidérurgiques. ....	269
<b>Tableau 27 :</b> Résultats du modèle ordonné sans variables de coûts sur les usines sidérurgiques.....	275
<b>Tableau 28 :</b> Résultats du modèle de Cox sur les fours à arc électrique. ....	278
<b>Tableau 29 :</b> Résumé des résultats sur l'effet de l'énergie sur la compétitivité des industries de l'acier et du papier.....	289

Chapitre III

<b>Tableau 30 :</b> Secteurs industriels agrégés présents dans la base de données ENERDATA. ....	306
<b>Tableau 31 :</b> Illustration de la méthode de répartition des consommations d'énergie physique par sous-secteur .....	307
<b>Tableau 32 :</b> Flux d'électricité dans les importations de produits manufactures de la France .....	339
<b>Tableau 33 :</b> Flux d'électricité dans les exportations de produits manufactures de la France .....	339
<b>Tableau 34 :</b> Origine de l'énergie et du CO <sub>2</sub> contenus dans la production, la consommation et les exportations de biens manufacturés dans l'industrie européenne en 2005.....	342
<b>Tableau 35 :</b> Flux d'énergie et de CO <sub>2</sub> dans les produits manufacturés des pays européens .....	350

ANNEXESANNEXE A) DEMONSTRATION DE L'ANALYSE TEMPORELLE DES EFFETS DU MODELE DE GRAVITE

Dans le modèle de gravité, l'équation se présente sous une forme multiplicative de la forme générique suivante, où  $Y_{ijt}$  représente la variable expliquée pour un flux d'un pays donné ( $i$ ) vers un autre ( $j$ ) pour une année  $t$ ,  $X_{ijt}^l$  les  $l$  variables explicatives,  $\alpha$  une valeur constante et  $\beta^l$  les élasticités de chaque variables :

$$Y_{ijt} = f(X_{ijt}^l) \quad (47)$$

$$Y_{ijt} = \alpha * \prod_l (X_{ijt}^l)^{\beta^l} \quad (48)$$

Cette équation est alors linéarisée sous la forme logarithmique pour l'estimation économétrique :

$$\ln(Y_{ijt}) = \ln(\alpha) + \sum_l \beta^l * \ln(X_{ijt}^l) + u_{ijt} \quad (49)$$

L'utilisation des effets individuels fixes par flux bilatéral revient numériquement à utiliser l'équation suivante :

$$\ln(Y_{ijt}) - \overline{\ln(Y_{ij})} = (\ln(\alpha_{ij}) - \overline{\ln(\alpha_{ij})}) + \sum_l [\beta^l * (\ln(X_{ijt}^l) - \overline{\ln(X_{ij}^l)})] \quad (50)$$

Or,

$$\ln(\alpha_{ij}) = \overline{\ln(\alpha_{ij})} \quad (51)$$

Donc,

$$\ln(Y_{ijt}) - \overline{\ln(Y_{ij})} = \sum_l [\beta^l * (\ln(X_{ijt}^l) - \overline{\ln(X_{ij}^l)})] \quad (52)$$

On peut alors comparer l'effet d'une variable d'une année par rapport à l'autre uniquement pour un flux bilatéral donné. En effet, la constante individuelle de chaque flux est une fonction dépendante de la moyenne de chaque variable pour ce flux. L'estimation économétrique du coefficient de chaque variable est alors uniquement basée sur les variations temporelles à l'intérieur d'un flux, la constante individuelle fixant les écarts entre différents flux. Il n'est donc pas possible d'utiliser ce coefficient pour déterminer l'influence totale (entre flux et entre années) d'une variable. Cependant, comme démontré ci-dessous, il reste toujours possible de comparer l'influence de l'évolution d'une variable à l'intérieur d'un flux par rapport à la moyenne de ce flux ou par rapport à une année de référence (1995 ou 1998 dans notre cas).

Explicitons le cas de référence pour  $t = 1995$  dans lequel nous faisons ressortir une variable  $X_{ijt}^e$ , représentant par exemple les coûts de l'énergie :

$$\ln(Y_{ij1995}) - \overline{\ln(Y_{ij})} = \sum_l [\beta^l * (\ln(X_{ij1995}^l) - \overline{\ln(X_{ij}^l)})] + \beta^e * (\ln(X_{ij1995}^e) - \overline{\ln(X_{ij}^e)}) \quad (53)$$

On suppose alors un cas de comparaison, indicé <sup>0</sup>, où la variable  $X_{ijt}^e$  a une valeur égale à celle de l'année de référence, soit :

$$X_{ij1995}^e = X_{ijt}^e \quad (54)$$

On a alors pour tout t,

$$\begin{aligned} \ln(Y_{ijt}) - \ln(Y_{ij}^0) &= \overline{\ln(Y_{ij})} + \sum_l [\beta^l * (\ln(X_{ijt}^l) - \overline{\ln(X_{ij}^l)})] + \beta^e * (\ln(X_{ijt}^e) - \overline{\ln(X_{ij}^e)}) - \\ &\quad \overline{\ln(Y_{ij})} - \sum_l [\beta^l * (\ln(X_{ij}^l) - \overline{\ln(X_{ij}^l)})] - \beta^e * (\ln(X_{ij1995}^e) - \overline{\ln(X_{ij}^e)}) \end{aligned} \quad (55)$$

$$\ln(Y_{ijt}) - \ln(Y_{ij}^0) = \beta^e * (\ln(X_{ijt}^e) - \ln(X_{ij1995}^e)) \quad (56)$$

$$\frac{Y_{ijt}}{Y_{ij}^0} = \left( \frac{X_{ijt}^e}{X_{ij1995}^e} \right)^{\beta^e} \quad (57)$$

Soit pour calculer l'écart induit par la variation de  $X_{ijt}^e$  par rapport à 1995, toutes choses étant égales par ailleurs :

$$\Delta Y_{ijt}^{1995} = Y_{ijt} - Y_{ij}^0 = Y_{ijt} * \left( 1 - \frac{1}{\left( \frac{X_{ijt}^e}{X_{ij1995}^e} \right)^{\beta^e}} \right) \quad (58)$$



## ANNEXE B) TESTS DES RESIDUS DE SHOENFELD POUR LE MODELE DE DUREE DE COX

. stphtest, detail

Test of proportional-hazards assumption

Time: Time

	rho	chi2	df	Prob>chi2
eafpart	.	.	1	.
capacite	-0.03179	0.12	1	0.7303
flatsteel	0.02734	0.09	1	0.7634
nombremach-e	0.01541	0.03	1	0.8647
REGCU	0.03647	0.15	1	0.6941
Ferrailleef	-0.19215	4.41	1	0.0357
Salaire	0.06195	1.25	1	0.2630
ElecEaf	0.02461	0.06	1	0.8059
ferbof	0.09898	1.19	1	0.2759
coalbof	-0.10658	1.27	1	0.2597
1996b.annes	.	.	1	.
1997.annes	0.03688	0.16	1	0.6874
1998.annes	0.04643	0.26	1	0.6124
1999.annes	-0.04467	0.24	1	0.6272
2000.annes	-0.02909	0.10	1	0.7491
2001.annes	-0.11384	1.55	1	0.2133
2002.annes	0.03779	0.17	1	0.6807
2003.annes	0.11384	1.52	1	0.2183
2004.annes	-0.02060	0.05	1	0.8246
2005.annes	-0.04420	0.24	1	0.6253
2006.annes	0.12278	1.75	1	0.1859
0b.region2	.	.	1	.
1.region2	0.05378	0.32	1	0.5714
2.region2	0.08943	0.87	1	0.3512
3.region2	0.06677	0.49	1	0.4826
4.region2	0.14771	2.48	1	0.1153
5.region2	0.14180	2.24	1	0.1341
global test		35.13	24	0.0665

note: robust variance-covariance matrix used.

Table 1 : Test sur les résidus de Shoenfeld pour le modèle pour tous les fours sidérurgiques

## . stphtest, detail

Test of proportional-hazards assumption

Time: Time

	rho	chi2	df	Prob>chi2
capaciteeaf	0.19183	2.99	1	0.0836
flatsteel	0.07779	0.55	1	0.4569
nombremac~af	0.06838	0.45	1	0.5033
REGCueaf	0.10034	0.90	1	0.3435
Ferrailleef	-0.08212	0.54	1	0.4636
Salaireef	0.00848	0.01	1	0.9044
ElecEaf	-0.01282	0.01	1	0.9095
1996b.annes	.	.	1	.
1997.annes	-0.05029	0.22	1	0.6367
1998.annes	-0.01794	0.03	1	0.8665
1999.annes	-0.11028	1.08	1	0.2991
2000.annes	-0.02192	0.04	1	0.8366
2001.annes	-0.09497	0.80	1	0.3707
2002.annes	0.04263	0.16	1	0.6899
2003.annes	0.16917	2.41	1	0.1208
2004.annes	-0.03760	0.12	1	0.7296
2005.annes	-0.06756	0.40	1	0.5272
2006.annes	0.09094	0.70	1	0.4042
0b.region2	.	.	1	.
1.region2	0.05411	0.24	1	0.6228
2.region2	0.04088	0.13	1	0.7169
3.region2	0.03097	0.08	1	0.7782
4.region2	0.13820	1.62	1	0.2033
5.region2	0.10941	0.98	1	0.3225
global test		21.40	22	0.4961

note: robust variance-covariance matrix used.

Table 2 : Test sur les résidus de Shoenfeld pour le modèle avec uniquement les fours à arc électriques

## . stphtest, detail

Test of proportional-hazards assumption

Time: Time

	rho	chi2	df	Prob>chi2
capacitebof	-0.09263	0.40	1	0.5287
flatsteel	0.09804	0.35	1	0.5551
nombremac~of	-0.00706	0.00	1	0.9575
REGCubof	-0.08151	0.71	1	0.3997
Salairebof	-0.22671	5.05	1	0.0246
coalbof	-0.14860	1.84	1	0.1748
ferbof	0.00309	0.00	1	0.9797
1996b.annes	.	.	1	.
1997.annes	0.33973	4.57	1	0.0325
1998.annes	0.20443	2.18	1	0.1394
1999.annes	.	.	1	.
2000.annes	0.07326	0.23	1	0.6279
2001.annes	0.01772	0.01	1	0.9153
2002.annes	0.20117	1.17	1	0.2800
2003.annes	0.26972	2.00	1	0.1576
2004.annes	.	.	1	.
2005.annes	.	.	1	.
2006.annes	0.47720	.	1	.
global test		27.48	13	0.0107

note: robust variance-covariance matrix used.

Table 3 : Test sur les résidus de Shoenfeld pour le modèle avec uniquement les hauts-fourneaux

ANNEXE C) LISTE DES PAYS ET DES REGIONS INCLUS DANS LE MODELE AVEC LES TABLEAUX ENTREES-SORTIES

<b>Pays avec données Eurostat</b>	<b>Pays avec données GTAP</b>
Autriche	Australie/Nouvelle Zélande
Belgique/Luxembourg	Reste de l'Océanie
Bulgarie	Chine/Taiwan/Hong-Kong
Chypre	Japon
Rép. Tchèque	Corée du Sud
Danemark	Indonésie
Estonie	Reste de l'Asie du Sud-Est
Finlande	Inde
France	Reste de l'Asie du Sud
Allemagne	Moyen Orient
Grèce	Turquie
Hongrie	Russie et anciennes républiques soviétiques
Irlande	Afrique du Nord
Italie	Afrique du Sud
Lettonie	Suisse
Lituanie	Reste de l'Europe
Malte	Canada
Pays-Bas	Etats-Unis
Norvège	Amérique Centrale
Pologne	Argentine
Portugal	Brésil
Roumanie	Reste de l'Amérique du Sud
Slovaquie	
Slovénie	
Espagne	
Suède	
Royaume-Uni	

## ANNEXE D) NOMENCLATURE SECTORIELLE UTILISEE DANS LE MODELE (GTAP, EUROSTAT, NES114)

Code GTAP	GTAP nomenclature Sectors included in the World model	Code NACE	Eurostat nomenclature (NACE)	Code NES	NES 114 nomenclature (INSEE, France) Nomenclature used in the EU model
OMN	Mining of metals ores and other mining and quarrying	CB13	Metal Ores	F11	Metal ores
		CB14	Other mining and quarrying products	F12	Other mining and quarrying products
OMT/CM T VOL MIL PCR SGR  B_T OFD	Meat	DA15	Food products and beverages	B01	Production, processing, preserving of meat and meat products
	Oil products			B02	Manufacture of dairy products
	Dairy products			B03	Manufacture of beverages
	Rice, semi- or wholly milled			B04	Manufacture of grain mill products, starches and starch products
	Sugar			B05	Other food products industries (fish, fruit, vegetables, juice, others)
	Beverages and tobacco products Other food products	DA16	Tobacco products	B06	Tobacco products
TEX	Manufacture of textiles and man-made fibres	DB17	Textiles	F21	Preparation and spinning of textiles fibres
				F22	Textile weaving
				F23	Finishing of textiles
WAP	Wearing apparel; dressing and dyeing of fur	DB18	Wearing apparels; furs	C11	Wearing apparels; furs
LEA	Tanning and dressing of leather	DC	Leather and leather products	C12	Leather and leather products
LUM	Wood and wood products	DD	Wood and products of wood and cork (except furniture); articles of straw and plaiting materials	F31	Wood and products of wood and cork (except furniture); articles of straw and plaiting materials
PPP	Pulp, paper and edition	DE21	Pulp, paper and paper products	F32	Manufacture of pulp, paper and paperboard
		DE22	Printed matter and recorded media	F33	Manufacture of articles of paper and paperboard
				C20	Printed matter and recorded media
CRP	Chemistry	DG	Chemicals, chemical products and man-made fibres	C31	Pharmaceuticals, medicinal chemicals and botanical products
				C32	Soap and detergents, cleaning and polishing preparations, perfumes and toilet preparation
				F41/F42	Mineral and organic chemistry (basic chemicals)
				F43	Parachemicals industry
TEX	Manufacture of textiles and man-made fibres	DH	Rubber and plastic products	F44	Man-made fibres
CRP	Chemistry			F45	Rubber
NMM	Other non-metallic mineral products	DI	Other non-metallic mineral products	F46	Plastic products
				F13	Glass and glass products
				F14	Other non-metallic mineral products (except glass)
I_S	Iron and Steel	DJ27	Basic metals	F51	Basic iron and steel, ferro-alloys, tubes and other first processing of iron and steel
NFM	Non-ferrous metals			F52	Manufacture of basic precious and non-ferrous metals
I_S/NFM	Casting of iron and steel and non-ferrous metals			F53	Casting of metals
FMP	Fabricated metal products, except machinery and equipment	DJ28	Fabricated metals products, except machinery and equipment	E21	Structural metal products
				E22	Tanks, reservoirs and containers of metal; central heating radiators and boilers, steam generators.
				F54	Forging, pressing, stamping and roll forming of metal; powder metallurgy; treatment and coating of metals; general mechanical engineering
				F55	Cutlery, tools and general hardware; other fabricated metal products
OME	Machinery, electrical, medical and optical equipment	DK	Machinery and equipment n.e.c.	C44	Domestic appliances n.e.c.
				E23	Machinery for the production and use of mechanical power, except aircraft, vehicle and cycle engines
				E24	Other general purpose machinery
				E25	Agricultural and forestry machinery
				E26	Machine-tools
				E27	Other special purpose machinery
				E28	Weapons and ammunition
ELE	Office machinery, radio, television and communication equipment	DL30	Office machinery and computers	E31	Office machinery and computers
OME	Machinery, electrical, medical and optical equipment	DL31	Electrical machinery and apparatus n.e.c.	E32	Electric motors, generators and transformers
				F61	Other electrical machinery and apparatus n.e.c.
ELE	Office machinery, radio, television and communication equipment	DL32	Radio, television and communication equipment and apparatus	C45	Television and radio receivers, sound or video recording or reproducing apparatus and associated goods
				E33	Television and radio transmitters and apparatus for line telephony and line telegraphy
				F62	Electronic valves and tubes and other electric components
OME	Machinery, electrical, medical and optical equipment	DL33	Medical, precision and optical instruments, watches and clocks	C46	Optical instruments and photographic equipment, watches and clocks
				E34	Medical and surgical equipment and orthopedic appliances
				E35	Instruments and appliances for measuring, checking , testing, navigating and other purposes
MVH	Motor vehicles, trailers and semi-trailers	DM34	Motor vehicles, trailers and semi-trailers	D01	Motor vehicles, bodies for motor vehicles, trailers and semi-trailers
OTN	Other transport equipment	DM35	Other transport equipment	D02	Parts and accessories for motor vehicles and their engines
				E11	Ships and boats
OMF	Other manufacturing n.e.c.; recycling	DN36	Furniture; other manufactured products n.e.c.	E12	Railway and tramway locomotives and rolling stock
				E13	Aircraft and spacecraft
				E14	Motorcycles, bicycles and other transport equipment n.e.c.
				C41	Furniture
DN37	Secondary raw materials	F56	Secondary raw materials	C42	Jewellery and related articles n.e.c., musical instruments
				C43	Sport goods, games and toys, miscellaneous manufacturing n.e.c.

# ANNEXE E) FACTEURS D'EMISSION DES COMBUSTIBLES SOLIDES ET DE L'ELECTRICITE

**Table E.1**

**Fossil fuel and electricity CO<sub>2</sub> emissions factors**

**Sources: IEA (International Energy Agency, 2009b)**

Energy type	CO <sub>2</sub> content (tCO <sub>2</sub> /MWh)
Natural gas and derivatives (Natural gas)	0.202
Oil products (Crude oil)	0.264
Solid fuels (Coking or bituminous coal)	0.341
Electricity by country or region (average calculation for aggregated regions)	
North of Africa	0.572
South of Africa	0.663
Germany	0.405
Central America	0.457
Rest of South America	0.264
Argentina	0.313
Rest of South Asia	0.540
Rest of South-East Asia	0.540
Australia/New Zealand	0.809
Austria	0.219
Belgium/Luxembourg	0.271
Brazil	0.084
Bulgaria	0.447
Canada	0.200
China	0.787
Cyprus	0.788
South Korea	0.460
Denmark	0.293
Spain	0.397
Estonia	0.710
Finland	0.193
France	0.093
Greece	0.776
Hungary	0.341
India	0.937
Indonesia	0.694
Ireland	0.582
Italy	0.413
Japan	0.429
Latvia	0.162
Lithuania	0.136
Malta	0.917
Middle East	0.696
Netherlands	0.387
Norway	0.006
Rest of Oceania	0.358
Poland	0.657
Portugal	0.501
Czech Republic	0.524
Rest of Europe	0.402
Romania	0.400
Russia and former Soviet republics	0.333
Slovakia	0.229
Slovenia	0.345
Sweden	0.044
Switzerland	0.031
Turkey	0.426
United kingdom	0.484
United States	0.570

International Energy Agency, 2009. CO<sub>2</sub> Emissions from fuel combustion. OECD/IEA, Paris, France.

**Détermination du rôle de l'énergie dans la compétitivité  
de l'industrie manufacturière :  
Etudes économétriques et modélisation des interdépendances**

**RESUME :** La crainte d'une perte de compétitivité industrielle est au cœur des débats sur de nouvelles politiques énergétiques et environnementales. Cette thèse étudie les effets d'une asymétrie des prix de l'énergie et des régulations environnementales entre pays sur la compétitivité de l'industrie manufacturière en Europe et dans le Monde. Dans un premier temps, les principaux déterminants de la compétitivité de deux industries grandes consommatrices d'énergie, la sidérurgie et l'industrie du papier, sont identifiés par des méthodes économétriques. Le rôle de l'énergie est ensuite quantifié et pondéré par rapport à ces déterminants. Notamment, l'évolution des exportations et de la production d'une industrie nationale ainsi que les changements de capacité des sites de production sont analysés. Dans un second temps, une hausse des prix de l'énergie, ou l'instauration d'une contrainte environnementale, n'affecte pas uniquement les secteurs grands consommateurs d'énergie mais aussi les industries en aval de la chaîne de production industrielle. L'échelle de l'étude est alors étendue à toute l'industrie manufacturière sur un périmètre mondial. L'objectif est d'appréhender les interdépendances énergétiques des secteurs industriels, en incluant les différences nationales et sectorielles, au travers d'une étude matricielle sur les tableaux entrées-sorties. La dépendance de l'industrie aux prix de l'énergie, et donc sa compétitivité, n'est pas seulement un enjeu national, mais une problématique européenne, voire mondiale.

**Mots clés :** Energie, Compétitivité, Industrie, Sidérurgie, Industrie du papier, Econométrie

**The Role of Energy in the Manufacturing Industry Competitiveness:  
Econometric studies and Interdependencies modelling**

**ABSTRACT:** A loss of industrial competitiveness is a major concern for energy and environmental policy design. This thesis studies the impacts of energy prices and environmental regulation asymmetries among countries on the competitiveness of the manufacturing industry in Europe and in the World. First, main factors of competitiveness in two energy-intensive industries, steel and paper sectors, are identified with econometric methods. The role of energy is then quantified and weighted relatively to these other factors. In particular, the evolution of exports and production for a national industry, as well as changes in production capacities of a factory, are analysed. Secondly, high energy prices, or a new environmental regulation, do not impact only energy-intensive industries but also downstream manufacturing sectors. The scale of the research is therefore extended to the whole manufacturing industry on a global scope. The objective is to grasp energy interdependencies between industrial sectors all along the production chain, including national differences in energy use. The study is based on a matrix calculation method using Input-Output tables. Energy dependence of national industries is not only a domestic issue, but also an international one.

**Keywords :** Energy, Competitiveness, Industry, Iron and Steel, Paper, Econometrics